

**VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra telekomunikační techniky**

**Využití mobilních telefonů pro komunikaci WiFi
Use of Mobile Phones for WiFi Communication**

2017

Martin Petrič

Zadání bakalářské práce

Student:

Martin Petrič

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R059 Mobilní technologie

Téma:

Využití mobilních telefonů pro komunikaci WiFi
Use of Mobile Phones for WiFi Communication

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je srovnat různé typy mobilních telefonů z hlediska jejich komunikačních vlastností a kvality signálu WiFi.

1. Popis standardů WiFi.
2. Možnosti mobilních telefonů v souvislosti s jejich využitím pro komunikaci WiFi.
3. Proměření komunikace WiFi z hlediska kvality signálu a dosažitelných přenosových rychlostí s využitím různých typů mobilních telefonů.
4. Vyhodnocení naměřených hodnot.

Seznam doporučené odborné literatury:

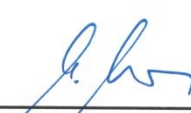
[1] Perahia E., Stacey R.: Next Generation Wireless LANs: 802.11n and 802.11ac, Cambridge University Press 2013, ISBN 978-1-107-01676-7

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Roman Šebesta, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 28.04.2017


doc. Ing. Miroslav Vozňák, Ph.D.
vedoucí katedry

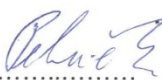



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 28. dubna 2017


.....
podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval Ing. Romanu Šebestovi, Ph.D. za odbornou pomoc a konzultaci při vytváření této bakalářské práce.

Prohlášení zástupce spolupracující právnické nebo fyzické osoby

„Souhlasím se zveřejněním této bakalářské práce dle požadavků čl. 26, odst. 9 Studijního a zkušebního řádu pro studium v bakalářských/magisterských programech VŠB-TU Ostrava.“

Dne: 28. dubna 2017

.....
podpis zástupce

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi mobilních telefonů v souvislosti s jejich využitím pro komunikaci WiFi. První část se zabývá standardy WiFi a to s větším důrazem na přenosové rychlosti, které byly objektem měření. V dalších částech se zabývá možnostmi konfigurace WiFi u mobilních telefonů s různými operačními systémy, konkrétně se jedná o Android, Blackberry, iOS a Windows phone. Poté následuje představení služeb WiFi Direct, WiFi Hotspot, DLNA a Miracast. Měřením přenosových rychlostí a úrovně přijímaného signálu je vyobrazeno v třetí kapitole, kde se nachází i vyhodnocení naměřených hodnot.

Klíčová slova

Standardy WiFi; mobilní telefon; IEEE 802.11; RSSI; přenosové rychlosti; WiFi Direct; WiFi Hotspot; DLNA; Miracast; Android

Abstract

This bachelor thesis deals with the possibilities of mobile phones in connection with their use for WiFi communication. The first part deals with WiFi standards and with more emphasis on the transmission speeds that were the object of measurement. In the next sections, it deals with WiFi configuration options for mobile phones with different operating systems, specifically Android, Blackberry, iOS and Windows Phone. Then follows WiFi Direct, WiFi Hotspot, DLNA and Miracast. Measurement of transmission rates and received signal levels is shown in the third chapter, where the evaluation of the measured values.

Key words

WiFi Standards; Mobile Phone; IEEE 802.11; RSSI; Link Speeds; WiFi Direct; WiFi Hotspot; DLNA; Miracast; Android

Obsah

Seznam použitých zkratek.....	- 1 -
Úvod.....	- 3 -
1 Standardy WiFi	- 4 -
1.1 IEEE 802.11	- 4 -
1.2 IEEE 802.11b.....	- 4 -
1.2.1 IEEE 802.11b - Fyzická vrstva.....	- 4 -
1.2.2 IEEE 802.11b - MAC vrstva	- 5 -
1.3 IEEE 802.11a	- 5 -
1.3.1 IEEE 802.11a - Fyzická vrstva.....	- 5 -
1.4 IEEE 802.11g.....	- 7 -
1.4.1 IEEE 802.11g - Fyzická vrstva.....	- 8 -
1.5 IEEE 802.11n.....	- 8 -
1.5.1 IEEE 802.11n - Fyzická vrstva.....	- 8 -
1.6 IEEE 802.11ac	- 9 -
1.6.1 IEEE 802.11ac - Fyzická vrstva	- 10 -
1.7 IEEE 802.11ad	- 10 -
1.7.1 IEEE 802.11ad - Fyzická vrstva.....	- 11 -
1.8 Dodatky k IEEE 802.11 standardu.....	- 11 -
2 Možnosti mobilních telefonů v souvislosti s jejich využitím pro komunikaci WiFi.....	- 12 -
2.1 Možnosti nastavení WiFi dle operačního systému.....	- 12 -
2.1.1 Android 7.....	- 12 -
2.1.2 BlackBerry 10.....	- 13 -
2.1.3 iOS.....	- 14 -
2.1.4 Windows 10 mobile.....	- 15 -
2.1.5 Možnosti zobrazení informací o WiFi.....	- 15 -
2.2 WiFi hotspot.....	- 17 -
2.2.1 Srovnání možností konfigurace WiFi hotspotu u odlišných mobilních OS.....	- 17 -
2.3 WiFi Direct	- 19 -
2.3.1 WiFi Direct a mobilní OS.....	- 20 -
2.4 DLNA	- 21 -
2.5 Miracast.....	- 22 -

3	Měření RSSI a přenosových rychlostí.....	- 24 -
3.1	Měřicí přístroje a přístupové body	- 24 -
3.2	Měření přenosových rychlostí a RSSI při FTP přenosu.....	- 24 -
3.2.1	Metodika měření.....	- 24 -
3.2.2	Měření přenosových rychlostí a RSSI při samostatném přenosu	- 25 -
3.2.3	Měření přenosových rychlostí při paralelním přenosu 4 telefonů	- 27 -
3.2.4	Měření přenosových rychlostí při paralelním přenosu 8 telefonů	- 30 -
3.2.5	Měření přenosových rychlostí při zarušení dalším AP	- 31 -
3.3	WiFi Hotspot.....	- 33 -
3.3.1	Měření rychlosti připojení k internetu	- 33 -
3.3.2	Měření změny úrovně RSSI na vzdálenosti 50 m	- 34 -
4	Závěr	- 36 -
5	Použitá literatura	- 37 -
	Seznam příloh.....	- 38 -

Seznam použitých zkratk

Zkratka	Význam anglicky	Význam česky
AMC	Adaptive Modulation Coding	Adaptivní modulace a kodování
AP	Access Point	Přístupový bod
BSSID	Basic Service Set IDentifier	MAC adresa Access Pointu (AP)
CCK	Complementary Code Keying	Doplňkové klíčování kódu
DCF	Distributed Coordination Function	Funkce rozložené koordinace
DFS	Dynamic Frequency Selection	Automatická volba kmitočtu
DLNA	Digital Living Network Alliance	Aliance digitální bytové sítě
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum	Přímého rozprostřené spektrum
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power	Ekvivalentní izotropně vyzářený výkon
FEC	Forward Error Correction	Oprava chyb bez zpětné vazby
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum	Rozprostřené spektrum s přepínáním kmitočtů
GI	Guard Interval	Ochranný interval
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
IR	Infrared	Infračervené
ISM	Industrial, Scientific and Medical	Nelicencované frekvenční pásmo pro průmysl, vědu a lékařství
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output	Více vstupů více výstupů
MU-MIMO	Multi-user MIMO	Multi-user MIMO
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing	Ortogonální multiplex s frekvenčním dělením
OS	Operating System	Operační systém
PCF	Point Coordination Function	Funkce bodové koordinace
PMD	Physical Medium Dependent	Podvrstva fyzické vrstvy v sítích FDDI
PSK	Phase-shift keying	Klíčování fázovým posuvem
QoS	Quality of Service	Quality of Service

Seznam použitých zkratk

SISO	Single-Input Single-Output	Jediný vstup jediný výstup
SRD	Short Range Devices	Zařízení krátkého dosahu
SSID	Service Set Identifier	Identifikátor bezdrátové sítě WiFi
TDM	Time Division Multiplexing	Multiplex s časovým dělením
TPC	Transmit Power Control	Automatická regulace výkonu
UPNP	Universal Plug and Play	Universal Plug and Play
VoIP	Voice over Internet Protocol	
WLAN	Wireless Local Area Network	Bezdrátová lokální síť

Úvod

Bezdrátová technologie WiFi se dnes prakticky nachází v každém novém mobilním telefonu. Primárně je tato technologie v mobilních telefonech využívána k přístupu na internet a pouze menšina lidí využívá WiFi v mobilním telefonu i k něčemu jinému. Požadavky na přenosové rychlosti samozřejmě rostou a tím pádem přicházejí nové standardy s vyššími rychlostmi. Tyto rychlosti se zejména uplatní, pokud máte vysokorychlostní připojení k internetu například pomocí optické linky nebo u bezdrátových monitorů, které u velkého rozlišení k plynulosti obrazu potřebují dostatečnou přenosovou rychlost.

V první kapitole se práce zaměřuje na teoretický rozbor standardů WiFi se zaměřením na přenosové rychlosti a to konkrétně u standardů IEEE 802.11, IEEE 802.11b, IEEE 802.11a, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac a IEEE 802.11ad včetně dodatků nacházející se na konci této kapitoly.

Druhá část pojednává o možnostech WiFi u mobilních telefonů. Mezi tyto možnosti je zařazena konfigurace WiFi u různých operačních systémů (Android, BlackBerry, iOS a Windows phone). Následuje seznámení s možnostmi, jako jsou WiFi Direct, WiFi Hotspot, DLNA a Miracast.

Měřením parametrů WiFi se zabývá kapitola třetí. Mezi měřené parametry patří přenosová rychlost a úroveň přijímaného signálu RSSI. Toto měření bylo zrealizované pomocí FTP přenosu. Změřeno bylo 8 telefonů se systémem Android, které se odlišovali verzí OS, výkonem a velikostí.

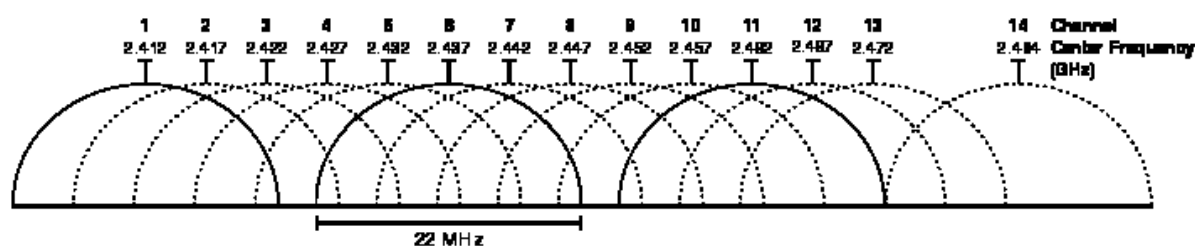
1 Standardy WiFi

1.1 IEEE 802.11

Původní verze standardu IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 802.11 byla vydána v roce 1997 a upřesněna v roce 1999, ale dnes už je zastaralá. Rychlost činila 1 a 2 Mbit/s. Využívá tři alternativní technologie fyzické vrstvy: IR pro 1 Mbit/s, FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*) pro 1 Mbit/s nebo 2 Mbit/s, DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*) pro 1 Mbit/s nebo 2 Mbit/s. Pracuje v ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) pásmu 2,4 až 2,485 GHz. [1][2]

1.2 IEEE 802.11b

Nový WLAN standard IEEE 802.11b byl schválen v září 1999 a vycházel z předchozí verze IEEE 802.11. Ve skutečnosti byl standard pojmenován podle pořadí, v kterém byl vyvíjen, ale přišel na trh dřív než 802.11a. IEEE 802.11b přidává dvě přenosové rychlosti 5,5 Mbit/s a 11 Mbit/s k původním 1 Mbit/s a 2 Mbit/s. Přenosová rychlost 11 Mbit/s byla srovnatelná se službami nabízenými Ethernetem. IEEE 802.11b je považován za de facto standard pro WiFi (*Wireless Fidelity*), kvůli jeho přenosové rychlosti a nízké ceně. [1]



Obrázek 1.1: Kanály 802.11b

1.2.1 IEEE 802.11b - Fyzická vrstva

IEEE 802.11b využívá 2,4 GHz bezlicenční frekvenční pásmo jako původní IEEE 802.11. Vzhledem k bezlicenčnímu pásmu je tu možnost rušení z několika jiných zdrojů (*Mikrovlnné trouby, Bluetooth, bezdrátové telefony atd.*) dostupné na stejném pásmu. Toto je nevýhoda, ale instalace IEEE 802.11b v rozumné vzdálenosti od jiných zařízení ve stejném pásmu může snížit rozsah rušení. [1]

Tabulka 1.1: Využití rádiových frekvencí pásma 2,4 GHz ve světě [2]

Země	Kanály	Frekvence [GHz]
USA a Kanada	1 - 11	2,412 - 2,462
Evropa mimo Francii a Španělska	1-13	2,412 - 2,472
Francie	10-13	2,457 - 2,472
Španělsko	10 - 11	2,457 - 2,462
Japonsko	1 - 14	2,421 - 2,484

IEEE 802.11b pracuje na 14 rozdílných frekvencích, začínající od 2,412 GHz s inkrementací 5 MHz pro každou další frekvenci. Je nutné, aby vzdálenost mezi středními kmitočty dvou kanálů byla alespoň 25 MHz. Proto nad šířkou pásma 83,5 MHz můžete použít tři (č. 1, 6 a 11 nebo 2, 7 a 12 popřípadě 3, 8 a 13) nepřekrývající se kanály (obr. 1.1). IEEE 802.11b je založeno na principu DSSS,

který používá Barker kód k přenosu datových bitů. Podvrstva závislá na fyzickém mediu PMD (*Physical Medium Dependent*) může přenášet data rychlostmi 1, 2, 5,5 a 11 Mbit/s. Dvouúrovňová diferenciální PSK (*Phase-shift keying*) modulace je použita pro přenos rychlostí 1 Mbit/s a čtyřúrovňová PSK modulace je použita pro přenos rychlostmi 2, 5,5 a 11 Mbit/s. K dosažení větší přenosové rychlosti ve stejné šířce pásma využívá IEEE 802.11b modulační schéma známe jako doplňkové klíčování kódu CCK (*Complementary Code Keying*). Rychlost 5,5 Mbit/s používá CCK k zakódování nosné vlny 4 bity, zatímco rychlost 11 Mbit/s kóduje nosnou vlnu 8 bity. [1]

1.2.2 IEEE 802.11b - MAC vrstva

IEEE 802.11b MAC využívá funkci rozložené koordinace DCF (*Distributed Coordination Function*) i funkci koordinace jedním bodem PCF (*Point Coordination Function*). Také zajišťuje RTS/CTS protokol a fragmentaci pro zredukování kolizí. PCF je nepovinný ve standardu 802.11b, který specifikuje tři odlišné formáty MAC rámce (*řídící/datový/pro správu*). Rámec pro správu se používá k inicializaci komunikace. Řídící rámec zajišťuje asistenci při doručování datových rámců. RTS/CTS (*request to send/ clear to send*) rámce jsou příkladem řídících rámců. Datový rámec obsahuje aktuální informace, které mají být předány. [1]

1.3 IEEE 802.11a

Na počátku byl WLAN standard IEEE 802.11, který zasílal data rychlostmi 1 Mbit/s a 2 Mbit/s. IEEE 802.11a se objevil v roce 1999 (*ve stejném roce jako IEEE 802.11b*), ale na trh se dostal později kvůli technickým problémům a vysoké ceně implementace. [1]

1.3.1 IEEE 802.11a - Fyzická vrstva

IEEE 802.11a má totožnou MAC vrstvu jako IEEE 802.11, ale fyzická vrstva je pozměněná. Standard IEEE 802.11a využívá 5 GHz ISM pásmo, ale ne všechny kanály spadají do tohoto rozsahu. V České republice je prvních 8 kanálů (č. 36, 40, 44, 48, 52, 56, 60 a 64) vymezeno pouze pro využití uvnitř budov s maximálním EIRP = 200 mW. Následujících 11 kanálů (č. 100, 104, 108, 112, 116, 120, 124, 128, 132, 136, 140) je možno používat vnitřně i venkovně s max. EIRP = 1 W s automatickou změnou výkonu nebo s max. EIRP = 500 mW bez regulace. Zbýlých 5 kanálů (č. 149, 153, 157, 161 a 165) je možno využívat vnitřně i venkově, ale s max. EIRP = 25 mW. Přehled kanálů v pásmu 5 GHz naleznete v tabulce 1.2. Vzhledem k odlišným frekvencím, IEEE 802.11a není kompatibilní s IEEE 802.11b. [1]

Pásmo 5 GHz je méně zaplněné v porovnání s 2,4 GHz pásmem, takže nedochází k takovému rušení. Větší šířka pásma umožňuje na tomto pásmu větší počet kanálů a vyšší přenosové rychlosti. Nicméně při šíření signálu ve vysokých frekvencích se zvyšuje útlum přenosu, což má za následek menší dosah. Dosah standardu IEEE 802.11a činí přibližně 30 m (*v porovnání s IEEE 802.11 a IEEE 802.11b má menší pracovní oblast*). Proto u IEEE 802.11a se musí použít více buněk k pokrytí pracovní oblasti, kde by stačila jedna buňka IEEE 802.11b. Kromě toho je IEEE 802.11a trochu nákladnější vzhledem k IEEE 802.11b. Fyzická vrstva IEEE 802.11a využívá mnoho různých metod k dosažení vyšších přenosových rychlostí. [1]

Tabulka 1.2: *Přehled kanálu v pásmu 5 GHz ve světě*

Kanál	Frekvence [MHz]	Evropa (ETSI)	Severní Amerika (FCC)	Japonsko
36	5180	Vnitřně	✓	✓
40	5200	Vnitřně	✓	✓
44	5220	Vnitřně	✓	✓
48	5240	Vnitřně	✓	✓
52	5260	Vnitřně / DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
56	5280	Vnitřně / DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
60	5300	Vnitřně / DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
64	5320	Vnitřně / DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
100	5500	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
104	5520	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
108	5540	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
112	5560	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
116	5580	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
120	5600	DFS / TPC	Nepřístupné	DFS / TPC
124	5620	DFS / TPC	Nepřístupné	DFS / TPC
128	5640	DFS / TPC	Nepřístupné	DFS / TPC
132	5660	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
136	5680	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
140	5700	DFS / TPC	DFS	DFS / TPC
149	5745	SRD	✓	Nepřístupné
153	5765	SRD	✓	Nepřístupné
157	5785	SRD	✓	Nepřístupné
161	5805	SRD	✓	Nepřístupné
165	5825	SRD	✓	Nepřístupné

Vysvětlivky: DFS (*Dynamic Frequency Selection*) umožňuje WLAN sítím koexistovat s radarovými systémy. TPC (*Transmit Power Control*) zajišťuje automatickou regulaci výkonu. SRD (*Short Range Devices*) jsou zařízení s krátkým dosahem a max. EIRP = 25 mW.

Existují však státy jako Austrálie, Brazílie, Čína, Izrael, Korea, Singapur, Jižní Afrika, Turecko a další, kde mají přístup ke kanálům pod frekvencí 5180 MHz.

IEEE 802.11a využívá přenosového principu OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*). To znamená, že na stejné šířce pásma se může přenášet větší počet bitů. OFDM přenáší data v paralelních kanálech a snižuje dopad mezisymbolových přeslechů. OFDM přenos pomáhá snížit celkový dopad šumu, rušení a degradaci signálu v kanálu. S menší chybovou pravděpodobností a vyšší spektrální efektivitou OFDM přenos pomáhá získat vyšší účinnost přenosových rychlostí. [1]

Tabulka 1.3: *Přehled modulací pro dané rychlosti 802.11a*

MCS index	Modulace	Kódovací poměr	Přenosová rychlost [Mbit/s]
1101	BPSK	1/2	6
1111	BPSK	3/4	9
0101	QPSK	1/2	12
0111	QPSK	3/4	18
1001	16-QAM	1/2	24
1011	16-QAM	3/4	36
0001	64-QAM	2/3	48
0011	64-QAM	3/4	54

Pro přenos využívá 8 současně překrývajících se kanálů. Každý kanál má šířku pásma 20 MHz a podporuje 52 OFDM subnosných (*48 subnosných pro data a 4 subnosné pro chybovou korekci*). [1]

IEEE 802.11a využívá AMC (*Adaptive Modulation Coding*) schéma pro přenos dat. AMC pomáhá získat optimální přenosovou rychlost. V IEEE 802.11a jsou OFDM subnosné modulovány pomocí BPSK, QPSK, 16-QAM nebo 64-QAM modulací (*přehled v tabulce 1.3*). [1]

IEEE 802.11a používá FEC (*Forward Error Correction*) pro chybovou korekci a přenáší sekundární kopii dat zároveň s primární kopii. Jestliže bude během přenosu primární část poškozena, může se využít sekundární kopie k její opravě. [1]

Z důvodu vysoké přenosové rychlosti (až 54 Mbit/s) IEEE 802.11a byl velmi atraktivní pro uživatele. Dále podporuje rychlosti 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48 a 104 Mbit/s. Rychlost 6 Mbit/s je realizována pomocí BPSK modulace a kódováním 125 kbit/s pro každou z 48 subnosných (*125 kbit/s \times 48 = 6 Mbit/s*). Rychlost 12 Mbit/s je realizována použitím QPSK modulace (*tato modulace zdvojnásobuje přenosovou rychlost v každé subnosné, 250 kbit/s \times 48 = 12 Mbit/s*). Rychlost 24 Mbit/s je realizována použitím 16-QAM modulaci (*500 kbit/s \times 48 = 24 Mbit/s*). Rychlost 54 Mbit/s je realizováno pomocí 64-QAM modulace (*1.125 Mbit/s \times 48 = 54 Mbit/s*). Ve skutečnosti je 54 Mbit/s nejvyšší rychlost standardu IEEE 802.11a. Nicméně prodejce může nabízet přenosovou rychlost až 108 Mbit/s využitím tohoto standardu, neboť je tak docíleno pomocí kombinací dvou kanálů a výsledkem je 96 subnosných (*toto je nazýváno jako 2x mode nebo turbo mode*). [1]

1.4 IEEE 802.11g

Úspěch IEEE 802.11b a IEEE 802.11a ukázal cestu k vyvinutí nového standardu, který by kombinoval výhody těchto dvou. Výsledkem je standard IEEE 802.11g (*objevil se v roce 2003, ale původní návrh byl připraven v roce 2001*). Umožňuje rychlost 54 Mbit/s v 2,4 GHz ISM pásmu. Je zpětně kompatibilní s IEEE 802.11b a má stejný počet kanálů. [1]

1.4.1 IEEE 802.11g - Fyzická vrstva

IEEE 802.11g používá dva povinné a dva nepovinné režimy pro přenos dat. První povinný režim používá CCK (*Complementary Code Keying, stejně jako IEEE 802.11b pro 11 Mbit/s*) a druhý povinný režim využívá OFDM (*stejně jako IEEE 802.11a pro 54 Mbit/s*) ale v pásmu ISM. První nepovinný režim využívá metodu paketově binární konvoluční kódování (*PBCC-22*), která dokáže přenášet rychlostmi 6-54 Mbit/s. Druhý nepovinný režim používá kombinaci známou jako CCK-OFDM, která dosahuje maximum 33 Mbit/s. IEEE 802.11g se také stal standardem pro WiFi služby (*jako IEEE 802.11b*). [1]

1.5 IEEE 802.11n

Myšlenka standardu IEEE 802.11n byla taková, aby byl standard schopen poskytnout mnohem lepší výkon a držet krok s rostoucími rychlostmi jiných technologií, jako je například Ethernet. Byl schválen v roce 2009 (*avšak jeho verze 802.11n draft byla dostupná již v roce 2007*). Pracuje v pásmu 2,4 až 2,485 GHz a 5,15 až 5,725 GHz. Šířka pásma 20 MHz nebo 40 MHz Přenosová rychlost může dosahovat hodnot až 600 Mbit/s (*přehled teoretických přenosových rychlostí v tabulce 1.4*). Hlavní inovace jsou shrnuty níže:[3]

- Zavedení MIMO (*Multiple-input multiple-output*) až 4x4
- Možnost šířky pásma 40 MHz
- Diverzita antén
- Prostorový multiplexing (*oddělení jednotlivých přenosových kanálů*)
- Snížena zpětná kompatibilita s cílem zlepšit propustnost dat
- Frame agregation (*možnost najednou přenášet dva nebo více paketů.*)

1.5.1 IEEE 802.11n - Fyzická vrstva

IEEE 802.11n využívá OFDM principu, kde je využito všech 52 subnosných pro data na rozdíl od standardu 802.11a. Starší standardy než IEEE 802.11n využívaly technologii SISO (*single-input single-output*). IEEE 802.11n přichází s technologií MIMO. MIMO je technologie, která používá více vysílacích a přijímacích antén. Díky tomu se zvyšuje kapacita přenosu a to kvůli přenosu informací po více radiových kanálech, které se vměstnají do šířky pásma jediného kanálu. MIMO technologie počítá s vícecestným šířením signálu. U standardů 802.11a/b/g bylo vícecestné šíření chápáno jako interference snižující schopnost přijímače obnovit z přijatého signálu obsaženou informaci. MIMO používá diverzitu vícecestných signálů ke zvýšení možnosti přijímače obnovit ze signálu požadovanou informaci. Maximum MIMO je 4x4. Šířka kanálu 40 MHz je další novinka začleněná v IEEE 802.11n, která umožňuje současné použití dvou oddělených nepřekrývajících se kanálů pro přenos dat. 40 MHz mód využívá 2 sousední 20 MHz kanály. Přenosová rychlost je závislá na délce ochranného intervalu GI (*Guard Interval*). Což je čas, kdy se nevysílá žádná nová informace. Rychlost také závisí na kódovacím poměru, který udává poměr mezi počtem informačních bitů a celkovým počtem bitů. V tabulce 1.5 níže můžete vidět maximální teoretické rychlosti pro standard IEEE 802.11n.[4][6]

Tabulka 1.4: *Přehled teoretických přenosových rychlostí standardu 802.11n [8]*

MCS index	Počet datových toků	Modulace	Kódovací poměr	Přenosová rychlost [Mbit/s]					
				Šířka kanálu 20 MHz			Šířka kanálu 40 MHz		
				GI 800ns	GI 400ns	Min. RSSI [dBm]	GI 800ns	GI 400ns	Min. RSSI [dBm]
0	1	BPSK	1/2	6.50	7.20	-82	13.50	15.00	-79
1	1	QPSK	1/2	13.00	14.40	-79	27.00	30.00	-76
2	1	QPSK	3/4	19.50	21.70	-77	40.50	45.00	-74
3	1	16-QAM	1/2	26.00	28.90	-74	54.00	60.00	-71
4	1	16-QAM	3/4	39.00	43.30	-70	81.00	90.00	-67
5	1	64-QAM	2/3	52.00	57.80	-66	108.00	120.00	-63
6	1	64-QAM	3/4	58.50	65.00	-65	121.50	135.00	-62
7	1	64-QAM	5/6	65,00	72,20	-64	135,00	150,00	-61
8	2	BPSK	1/2	13,00	14,40	-82	27,00	30,00	-79
9	2	QPSK	1/2	26,00	28,90	-79	54,00	60,00	-76
10	2	QPSK	3/4	39,00	43,30	-77	81,00	90,00	-74
11	2	16-QAM	1/2	52,00	57,80	-74	108,00	120,00	-71
12	2	16-QAM	3/4	78,00	86,70	-70	162,00	180,00	-67
13	2	64-QAM	2/3	104,00	115,60	-66	216,00	240,00	-63
14	2	64-QAM	3/4	117,00	130,00	-65	243,00	270,00	-62
15	2	64-QAM	5/6	130,00	144,40	-64	270,00	300,00	-61
16	3	BPSK	1/2	19,50	21,70	-82	40,50	45,00	-79
17	3	QPSK	1/2	39,00	43,30	-79	81,00	90,00	-76
18	3	QPSK	3/4	58,50	65,00	-77	121,50	135,00	-74
19	3	16-QAM	1/2	78,00	86,70	-74	162,00	180,00	-71
20	3	16-QAM	3/4	117,00	130,00	-70	243,00	270,00	-67
21	3	64-QAM	2/3	156,00	173,30	-66	324,00	360,00	-63
22	3	64-QAM	3/4	175,50	195,00	-65	364,50	405,00	-62
23	3	64-QAM	5/6	195,00	216,7	-64	405,00	450,00	-61
24	4	BPSK	1/2	26,00	28,80	-82	54,00	60,00	-79
25	4	QPSK	1/2	52,00	57,60	-79	108,00	120,00	-76
26	4	QPSK	3/4	78,00	86,80	-77	162,00	180,00	-74
27	4	16-QAM	1/2	104,00	115,60	-74	216,00	240,00	-71
28	4	16-QAM	3/4	156,00	173,20	-70	324,00	360,00	-67
29	4	64-QAM	2/3	208,00	231,20	-66	432,00	480,00	-63
30	4	64-QAM	3/4	234,00	260,00	-65	486,00	540,00	-62
31	4	64-QAM	5/6	260,00	288,80	-64	540,00	600,00	-61

1.6 IEEE 802.11ac

IEEE 802.11ac byl vyvíjen mezi lety 2011-2013 a dokončen a schválen v lednu 2014. Pracuje v pásmu 5 - 5,8 GHz a teoretická přenosová rychlost činí až 6,93 Gbit/s (*přehled přenosových rychlostí v tabulce 1.5*). Hlavní inovace oproti IEEE 802.11g jsou shrnuty níže:

- Podpora až 8x8 MIMO
- Přidána šířka pásma 80 MHz a 160 MHz
- Modulace 256-QAM

- MU-MIMO technologie
- Beamforming technologie

1.6.1 IEEE 802.11ac - Fyzická vrstva

IEEE 802.11ac využívá OFDM principu. Technologie MU-MIMO u IEEE 802.11ac je schopnost AP komunikovat až se 4 klienty současně. Podpora pro 20/40/80/160 MHz kanály pro zachování kompatibility. Technologie Beamforming zajišťuje co nejlepší formování signálu tak, aby se přes překážky a odrazy dostal v co nejlepší kvalitě tak kam má (*u IEEE 802.11n nebyla povinná*). Komunikace IEEE 802.11ac a její modulace 256-QAM je složitější a požaduje více výpočetního výkonu na straně hardwaru.[3][4][6]

Tabulka 1.5: *Teoretické přenosové rychlosti standardu 802.11ac (Mbit/s) [8]*

MCS index	Modula ce	Kód. poměr	Poč. dat. toků	Šířka kanálu 20MHz		Šířka kanálu 40 MHz		Šířka kanálu 80 MHz		Šířka kanálu 160 MHz	
				GI 800ns	GI 400ns	GI 800ns	GI 400ns	GI 800ns	GI 400ns	GI 800ns	GI 400ns
0	BPSK	1/2	1	6,5	7,2	13,5	15	29,3	32,5	58,5	65
1	QPSK	1/2	1	13	14,4	27	30	58,5	65	117	130
2	QPSK	3/4	1	19,5	21,7	40,5	45	87,8	97,5	175,5	195
3	16-QAM	1/2	1	26	28,9	54	60	117	130	234	260
4	16-QAM	3/4	1	39	43,3	81	90	175,5	195	351	390
5	64-QAM	2/3	1	52	57,8	108	120	234	260	468	520
6	64-QAM	3/4	1	58,5	65	121,5	135	263,3	292,5	526,5	585
7	64-QAM	5/6	1	65	72,2	135	150	292,5	325	585	650
8	256-QAM	3/4	1	78	86,7	162	180	351	390	702	780
9	256-QAM	5/6	1	N/A	N/A	180	200	390	433,3	780	866,7
.
.
.
77	64-QAM	5/6	8	N/A	N/A	N/A	N/A	2340	2600	4680	5200
78	256-QAM	3/4	8	N/A	N/A	N/A	N/A	2808	3120	5616	6240
79	256-QAM	5/6	8	N/A	N/A	N/A	N/A	3120	3466	6240	6933

1.7 IEEE 802.11ad

IEEE 802.11ad standard je zaměřen k dosažení přenosové rychlosti až 7 Gbit/s. K dosažení těchto rychlostí se využívá 60 GHz ISM pásmo, ale vzhledem ke zpětné kompatibilitě může využívat i

2,4 GHz a 5 GHz pásma. Dosah je pouze pár metrů (1-10 m), proto se převážně používá napříč místnostmi. IEEE 802.11ad je též nazýván WiGig standard.

1.7.1 IEEE 802.11ad - Fyzická vrstva

Tento WLAN standard využívá frekvence v 60 GHz bezlicenčním pásmu ISM. V závislosti na geolokační oblasti pracuje v rozmezí 57 GHz až 66 GHz. V tabulce 1.6 naleznete rozsahy 60 GHz pásma ve světě. IEEE 802.11ad má 4 kanály (tabulka 1.7) s šířkou pásma 2,16 GHz, ale všechny 4 kanály se smí využívat pouze v určitých státech, kde to dovolí rozsah pásma.

Tabulka 1.6: *Rozsahy 60 GHz pásma ve světě*

Oblast	Rozsah [GHz]
Evropská unie	57,00 - 66,00
USA a Kanada	57,05 - 64,00
Jižní Korea	57,00 - 64,00
Japonsko	59,00 - 66,00
Austrálie	59,40 - 62,90

Tabulka 1.7: *Kanály v pásmu 60 GHz*

Kanál	Střed [GHz]	Min [GHz]	Max [GHz]
1	58,32	57,24	59,4
2	60,48	59,4	61,56
3	62,64	61,56	63,72
4	64,8	63,72	65,88

1.8 Dodatky k IEEE 802.11 standardu

- IEEE 802.11c – Bezdrátové přemostění (bridge); obsaženo v IEEE 802.1d standardu (2001)
- IEEE 802.11d – Mezinárodní roamingový dodatek (2001)
- IEEE 802.11e – Upgrade QoS, včetně burst paketů (2005)
- IEEE 802.11h – Spravování frekvenčního rozsahu 802.11a (5 GHz) pro Evropu (2004)
- IEEE 802.11i – Zdokonalení autentizační a šifrovací algoritmus (WPA2) (2004)
- IEEE 802.11j – Dodatek pro Japonsko; nová frekvenční pásma pro multimédia (2004)
- IEEE 802.11k – Vylepšení řízení rádio zdrojů pro vysoké frekvence (2008)
- IEEE 802.11p – Bezdrátový přístup pro pohyblivé prostředí (auta, vlaky, sanitky) (2010)
- IEEE 802.11r – Rychlé přesuny mezi přístupovými body (roaming) (2008)
- IEEE 802.11s – Samoorganizující se bezdrátové sítě. (ESS Mesh Networking) (2011)
- IEEE 802.11u – Vylepšení tykající se HotSpotu a autorizace třetích stran (2011)
- IEEE 802.11v – Možnost konfigurace klientských zařízení během připojení (2011)
- IEEE 802.11w – Chráněné servisní rámce(2009)[5]

2 Možnosti mobilních telefonů v souvislosti s jejich využitím pro komunikaci WiFi

2.1 Možnosti nastavení WiFi dle operačního systému

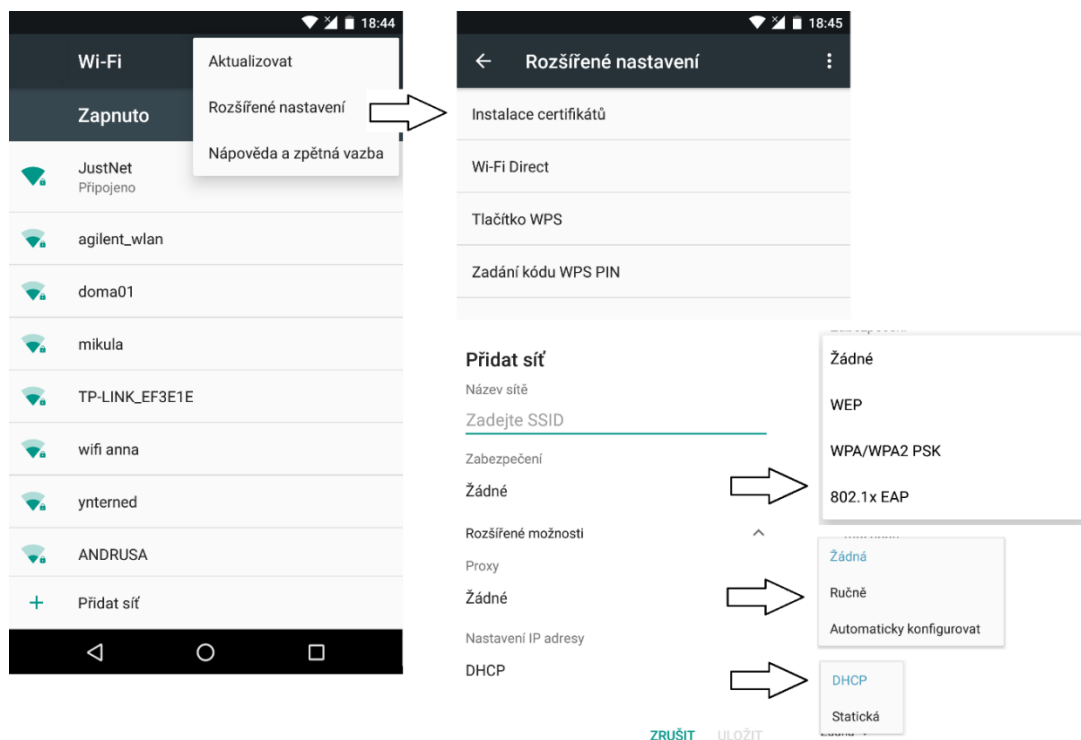
V následujících podkapitolách jsou popsány možnosti nastavení WiFi dle operačního systému dále jen OS. Vybrány jsou nejpoužívanější OS v nejaktuálnějších verzích k únoru 2017 a to Android 7.0.1, BlackBerry 10.3.1, iOS 10.3.2 a Windows phone 10. V tabulce 1.8 se nachází podíl jednotlivých OS na trhu ve čtvrtém kvartálu roku 2016 a pro srovnání také rok 2015.[7]

Tabulka 1.8: Podíl OS na trhu

Operační systém	4Q16 Podíl na trhu (%)	4Q15 Podíl na trhu (%)
Android	81,7	80,7
iOS	17,9	17,7
Windows	0,3	1,1
BlackBerry	0,0	0,2
Ostatní	0,1	0,2

2.1.1 Android 7

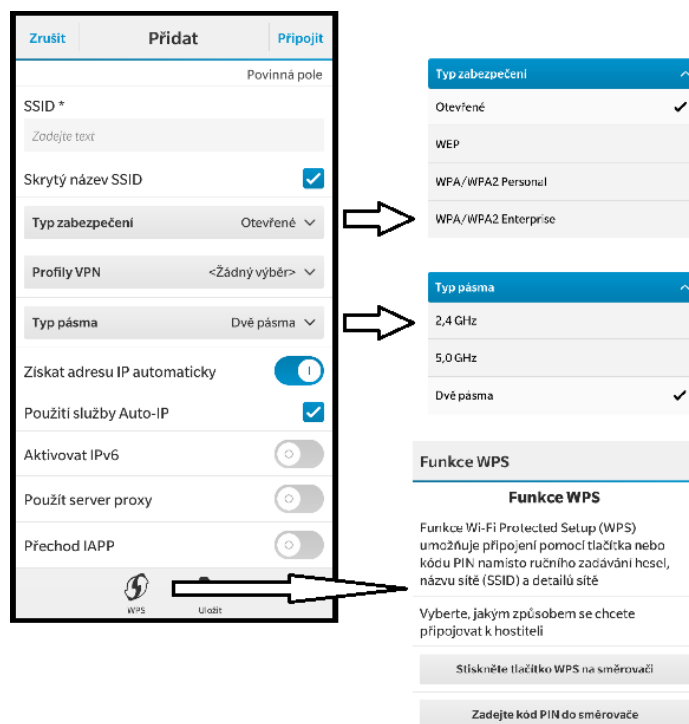
Nejrozšířenější OS Android nabízí přehledné prostředí s rychlou orientací (*obr. 1.2*). V rozšířeném nastavení máme na výběr instalaci certifikátů což slouží k identifikaci telefonu z důvodu zabezpečení. Certifikát identifikuje vaše zařízení a potvrzuje, že máme přístup k určitému obsahu. Většina certifikátů se však instaluje automaticky a proto se tato funkce používá zřídka. Funkce *Tlačítko WPS (WiFi Protected Setup)* slouží k připojení na WiFi síť pomocí zmáčknutí tlačítka na telefonu a WiFi routeru přibližně ve stejnou dobu. Tento způsob připojení však představuje bezpečnostní riziko a doporučuje se na WiFi routeru zakázat tuto funkci. *Zadání kódu WPS PIN* představuje proces, při kterém telefon nebo WiFi router vygeneruje PIN a ten se zadá do protějšního zařízení. WPS PIN jde použít pouze v případě, že WiFi síť není skrytá. Technologie WiFi Direct je popsána v kapitole 2.3.



Obrázek 1.2: Prostředí Android 7

2.1.2 BlackBerry 10

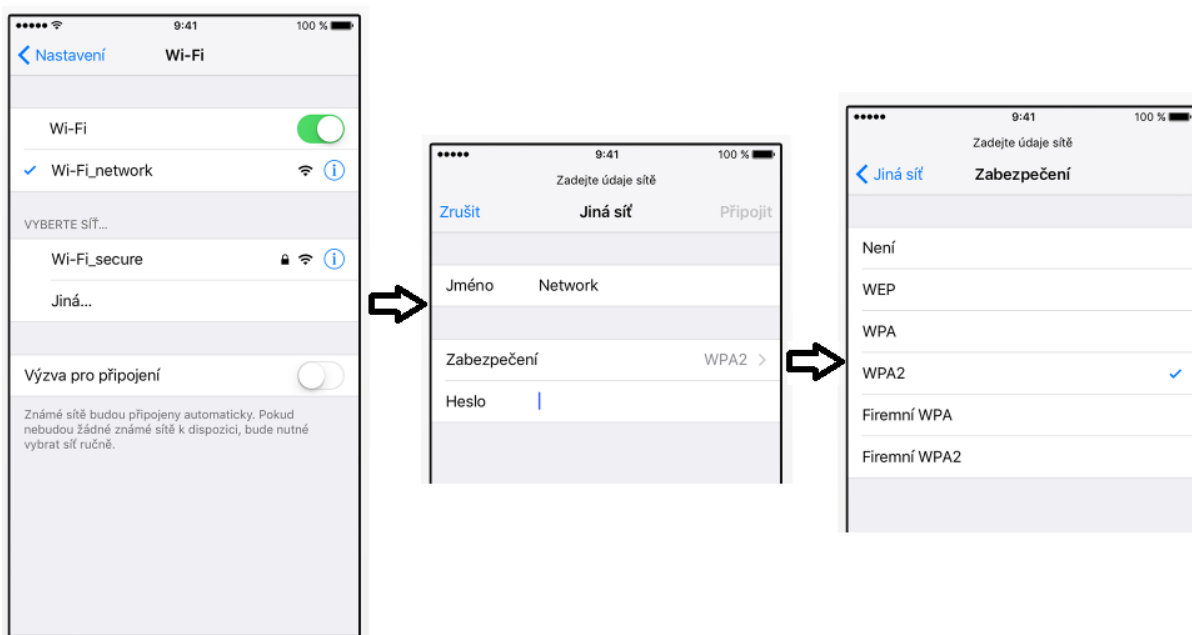
Jedná se o méně rozšířený OS, avšak jeho možnosti nastavení WiFi v lecčem předčí konkurenty. Na *obr. 1.3* je zobrazeno uživatelské prostředí při ručním přidávání WiFi sítě. Mezi parametry nastavení, které se běžně u jiných OS nevyskytují, můžeme zařadit možnost zvolit si typ pásma a to 2,4 GHz, 5 GHz popřípadě obě pásma. Další neobvyklá možnost je zvolit si *profil VPN*, který chcete využívat na dané WiFi síti. Při zapnuté možnosti *Získat adresu IP automaticky* dostane mobilní telefon IP adresu pomocí DHCP. V případě služby *Auto-IP* si mobilní telefon zvolí vlastní IP adresu, pokud ji nelze získat ze sítě WiFi. Možnost aktivovat *IPv6* patří také mezi odlišnosti od jiných OS. Možnost přechodu *IAPP* (*Inter-Access Point Protocol*) bezesporu patří mezi největší výhody oproti jiným OS. Obsahuje-li síť více přístupových bodů, pomocí IAPP můžeme nastavit, zda má mobilní telefon zůstat připojené, když se přesuneme od jednoho AP k druhému.



Obrázek 1.3: *Prostředí BlackBerry 10*

2.1.3 iOS

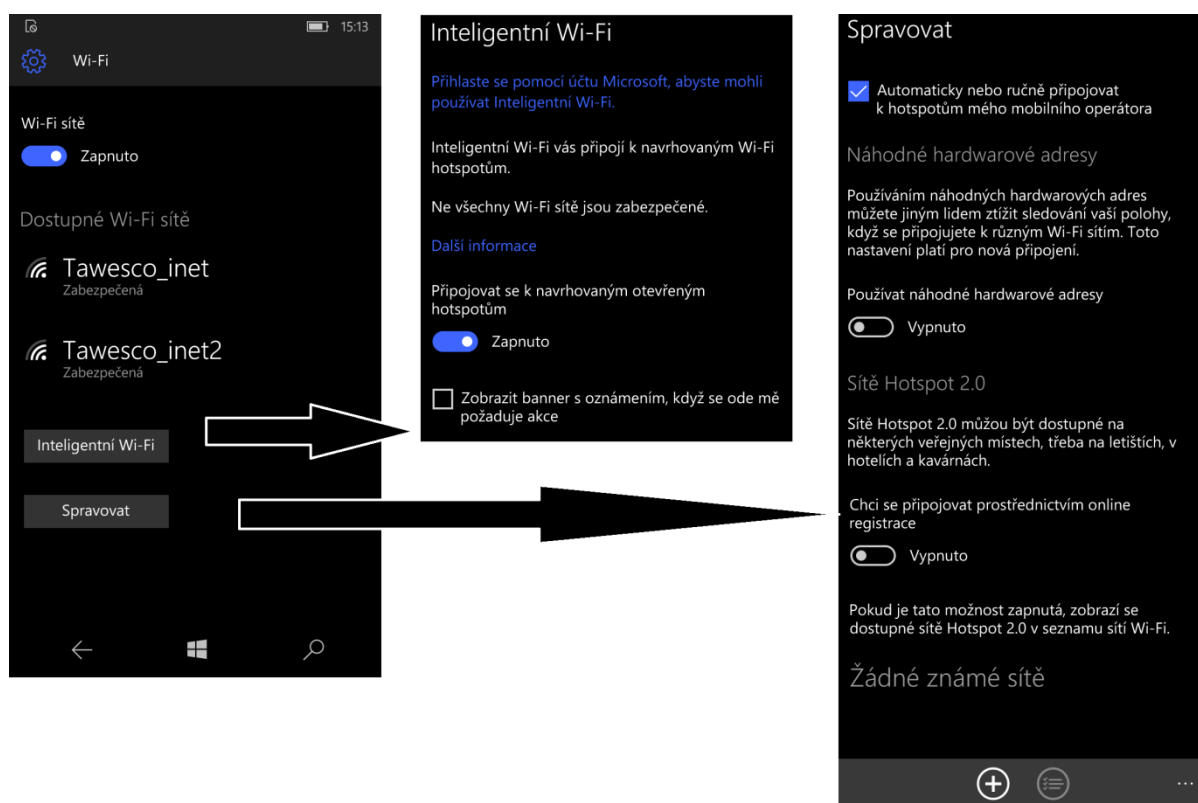
Tento OS je vyvíjen společností Apple a patří mu druhé místo na trhu. Možnosti v tomto OS jsou značně omezené. iOS nám dovoluje přidat síť, kde máme na výběr z 5ti typů zabezpečení a to WEP, WPA, WPA2, Firemní WPA, WPA2 a nebo bez zabezpečení. Dále si můžeme zapnout službu *Výzva pro připojení*, která vás bude upozorňovat na WiFi sítě v okolí.



Obrázek 1.4: *Prostředí iOS 10*

2.1.4 Windows 10 mobile

Nabízí prostředí srovnatelné s verzí OS používanou na stolních PC nebo notebookech, tabletech. Oproti jiným OS nabízí funkci Inteligentní WiFi, která automaticky připojí telefon k otevřeným WiFi hotspotům o nichž se ví prostřednictvím crowdsourcingu. Pro využívání této funkce musíte být přihlášení pod účtem Microsoft, nicméně není dostupná ve všech zemích. V případě dosahu několika WiFi sítí najednou Inteligentní WiFi rozhodne ke které se přihlásit a to na základě zda jste se k síti již někdy připojili nebo je poskytována vaším operátorem. V potaz se však samozřejmě bere i síla signálu a kvalita sítě. Aby mohla Inteligentní WiFi navrhnout a najít WiFi hotpoty musí mít telefon zapnutou funkci určování polohy. Další užitečnou funkcí je používání náhodné hardwarové adresy, které slouží pro lepší bezpečnost a to tím, že může ztížit sledování polohy telefonu při připojování k různým WiFi sítím.

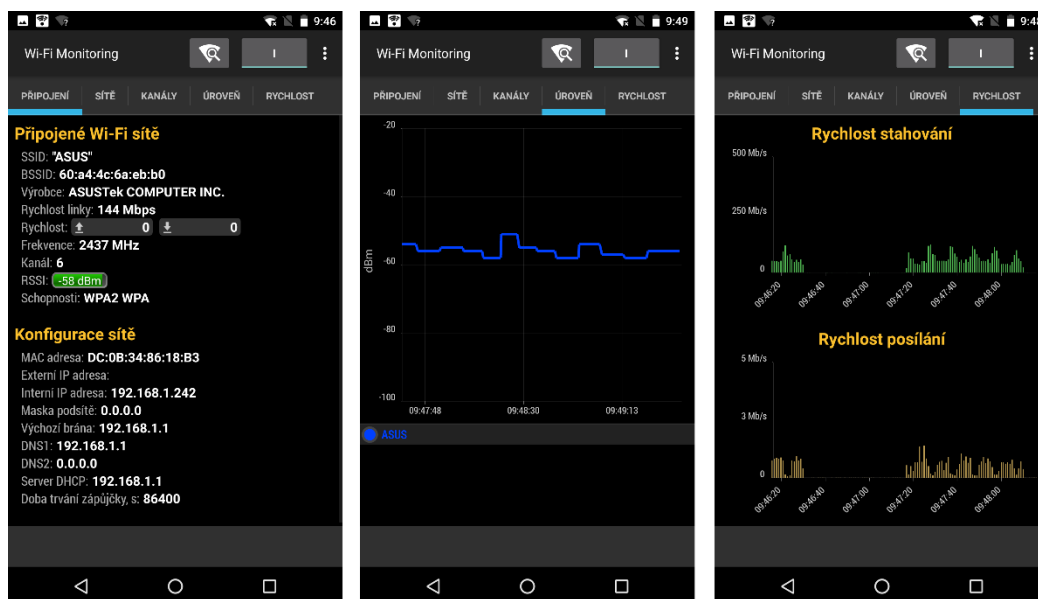


Obrázek 1.5: *Prostředí Windows 10 phone*

2.1.5 Možnosti zobrazení informací o WiFi

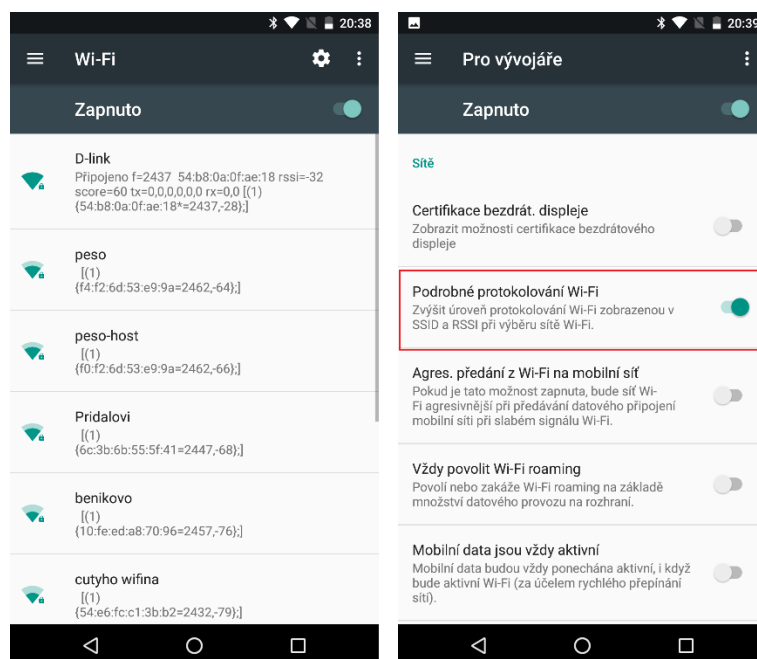
Nejjednodušší způsob zjištění informací o WiFi je pomocí aplikace. Za OS Android doporučuji aplikaci Wi-Fi Monitoring (obr. 1.6), kterou jsem také využíval při měření. Tato aplikace nabízí informace jako SSID, BSSID, Výrobce AP, rychlost linky, rychlosti stahování/odesílání, frekvence, kanál, RSSI, schopnosti a konfiguraci sítě. V záložce sítě zobrazuje informace o okolních sítích. Záložka kanály znázorňuje využití kanálu v okolí, lze přepínat mezi 2,4 GHz a 5 GHz pásmem. Záložka úroveň zobrazuje RSSI v časovém grafu, kde můžeme nastavit rozmezí od 1min do 3min. Poslední záložka rychlost nám zobrazuje rychlost odesílání a přijímání v časovém grafu. Takovéto

aplikace nabízí i konkurenční OS. Například v OS iOS aplikace Airport Utility (*minimálně verze OS 7.0*) a v OS Windows Phone aplikace WiFi Analyzer (*minimálně verze OS 10*). Windows Phone do verze 10 neumožňoval zobrazovat tyto informace.



Obrázek 1.6: Prostředí aplikace WiFi Monitoring

Android však od verze 5 umožňuje zobrazení informací jako RSSID, frekvenci a BSSID. Toto zobrazení však musíte povolit ve vývojářském režimu. Jedná se o konkrétně o položku Podrobné protokolování Wi-Fi (*obr. 1.7*). Pokud však máte root práva na svém telefonu tak další užitečné informace naleznete v souboru wpa_supplicant.conf, který se nachází v adresáři \device\data/misc/wifi ve kterém naleznete kompletní seznam WiFi sítí ke kterým se telefon kdy připojil včetně hesel (*obr. 1.8*).



Obrázek 1.7: Dodatečné informace k WiFi u telefonu LG Nexus 5X

```
network={
    ssid="ZyXEL"
    psk="12345678"
    key_mgmt=WPA-PSK
    priority=62
}

network={
    ssid="ASUS"
    psk="testtest"
    key_mgmt=WPA-PSK
    priority=63
}

network={
    ssid="Lenovo A2010-a"
    psk="12345678"
    key_mgmt=WPA-PSK
    priority=67
}
```

Obrázek 1.8: Ukázka dat ze souboru `wpa_supplicant.conf` u telefonu Samsung S3 mini

2.2 WiFi hotspot

Wi-Fi hotspot poskytuje připojení k Internetu ostatním zařízením tedy nejen telefonům, ale také notebookům, netbookům, tabletům a dalším, která nemají mobilní data. V tomto režimu je tedy telefon připojen do Internetu skrze mobilní data (*dle dostupnosti GPRS, EDGE, 3G, LTE*) a využívá integrovaný Wi-Fi adaptér k vysílání signálu bezdrátové sítě. Možnosti nastavení se nepatrně liší u telefonů se stejným operačním systémem a naopak velké rozdíly jsou mezi operačními systémy.

2.2.1 Srovnání možností konfigurace WiFi hotspotu u odlišných mobilních OS

Od OS Android 4.x.x do 7.x.x jsou možnosti nastavení prakticky totožné. Rozdíly nastavení jsou zde z důvodu nadstavby nad čistým systémem Android. Nastavit si můžeme SSID, zabezpečení, počet zařízení, vysílací kanál, vysílací pásmo a po jaké době se má hotspot vypnout. Čistý android dovoluje připojit maximálně 8 zařízení, avšak s nastavbou od Samsungu lze připojit až 10 zařízení. Dále je možnost u některých zařízení nastavit zda chceme IPv4 nebo IPv6, dobu po které se hotspot automaticky vypne anebo skrytí SSID. Další velice dobrou možností je filtrace pomocí MAC. U Windows Phonu jsou možnosti nastavení oproti OS Android výrazně menší. Je jedno jestli se jedná o WP7, WP8 nebo WP10 jelikož nastavení je všude stejné. Můžete si nastavit pouze SSID a typ zabezpečení. Hotspot se automaticky vypne při delší nečinnosti. Další OS je Blackberry 10, který poskytuje více možností nastavení než WP, ale stále se nemůže srovnávat s OS Android. Jako největší výhodu bych zmínil nastavení standartu a to 802.11g a 802.11b, dále potom možnost sledovat kolik dat bylo přijato a kolik odesláno. Jako poslední tu máme OS iOS 7, iOS 8 kde tuto funkci výrobce pojmenoval jako Osobní Hotspot. U iOS můžete zadat APN (Access Point Name), uživatelské jméno a heslo. Wi-Fi hotspot má SSID stejné jako je název telefonu. Dle zjištěných informací jsem došel k názoru, že nejlepší OS pro vytvoření Wi-Fi hotspotu je Android. V tabulce 1.9 si ukážeme srovnání možností nastavení v určitých operačních systémech.

Tabulka 1.9: Srovnání možností konfigurace WiFi hotspotu

Název OS	Typ zabezpečení	Filtrace pomocí MAC adresy	Možnost vysílacího kanálu	Maximální počet připojených zařízení	Nastavení standartu
WP7	WPA2 PSK, žádné	NE	NE	5	NE
WP8	WPA2 PSK, žádné	NE	NE	8	NE
WP10	WPA2 PSK, žádné	NE	NE	8	NE
Android 2.2.X	WPA2 PSK, žádné	NE	NE	5	NE
Android 4.X.X až 7.X.X	WPA PSK, WPA2 PSK, žádné	ANO	ANO (1-11)	8 (10)	NE
BB10	WPA2 PSK, žádné	NE	NE	8	ANO
iOS 7,8	WPA2 PSK	NE	NE	5	NE

Hodnoty vycházejí z těchto telefonů: *Nokia Lumia 800 (WP7)*, *Microsoft Lumia 640 (WP8)*, *Microsoft Lumia 550 (WP10)*, *Huawei U8500(Android 2.2.1)*, *Samsung S3 mini(4.1.2)*, *Samsung Galaxy Trend S7560 (Android 4.2.2)*, *LG G2 (Android 4.4.4)*, *LG L90 (Android 5.1.0)*, *Samsung Galaxy J5 (Android 6.0.1)*, *LG NEXUS 5X*, *Blackberry Z10 (BB10)*, *iPhone 4 (iOS 7.1.2)*, *iPhone 5 (iOS 8.2.1)*

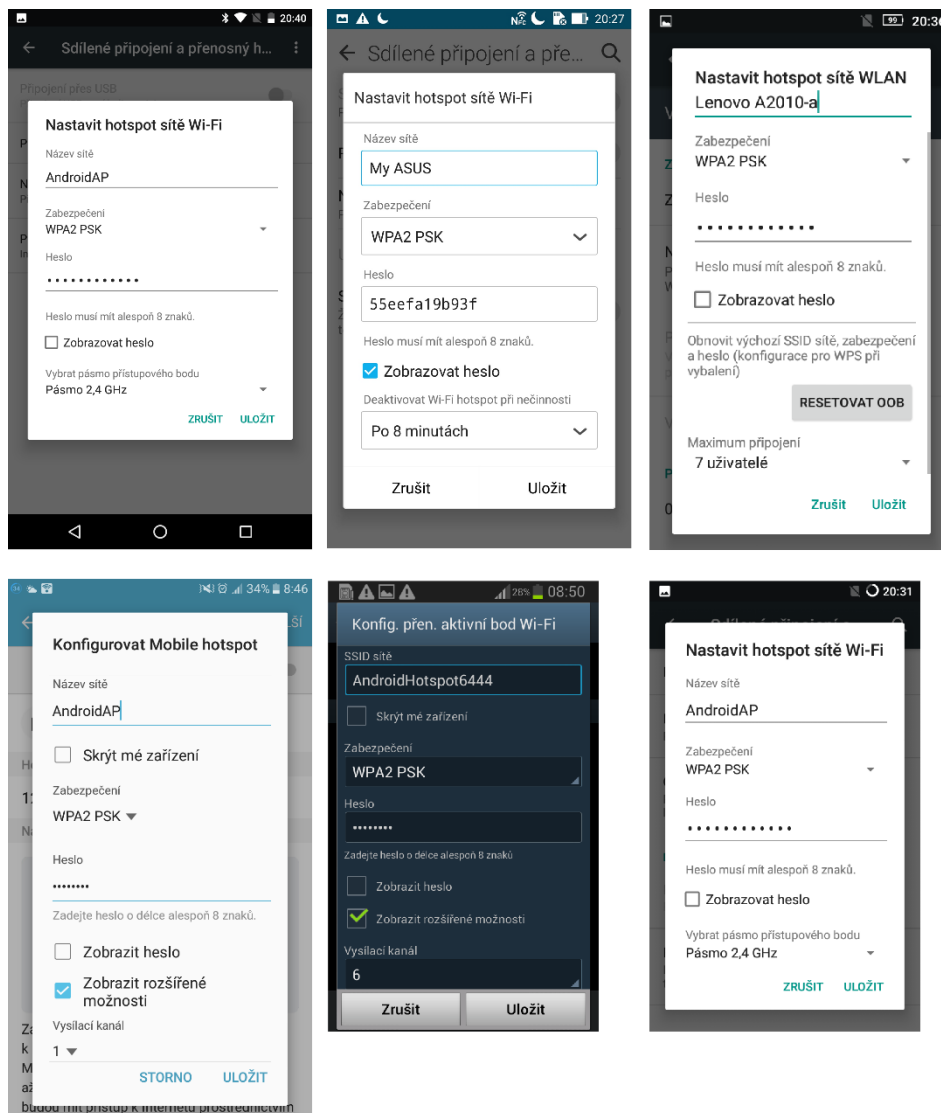
Při testování telefonů, které jsem měl k dispozici bylo zjištěno, že telefony neumožňující nastavení vysílacího kanálu u WiFi hotspotu nastaví kanál č. 1 a 6. Snažil jsem se zaručit kanály dalším WiFi hotspotem na stejném kanále, ale vysílající telefon nezměnil kanál. U telefonů Samsung lze nastavit vysílací kanál a to včetně možnosti automatického zvolení kanálu. Automatickou změnu jsem otestoval pomocí zaručení dalším hotspotem na stejný kanál a opravdu po 10s se kanál na hotspotu Samsungu změnil. Při dosažení maximálního počtu uživatelských připojených uživatelů telefon s hotspotem nezahlásí, že se pokouší připojit další telefon a nereaguje na to. Když se snažím připojit k tomuto plnému hotspotu telefon se snaží připojit avšak neúspěšně. Pokud nám rozhraní umožňuje určit maximální počet zařízení a změníme ho v běhu hotspotu, odpojí se zařízení v pořadí, v jakém byly připojeny (*otestováno na telefonu Lenovo A2010*). Pokud máte root práva můžete změnit vysílací kanál, SSID či maximální počet připojitelných telefonů v konfiguračním souboru `hostapd.conf` (*obr. 1.9*), který naleznete v adresáři `\device\data/misc/wifi`.

```

0          10          20          30          40          50          60          70
interface=wlan0
driver=nl80211
ctrl_interface=/data/misc/wifi/hostapd
ssid=AndroidHotspot6444
channel=6
ignore_broadcast_ssid=0
max_num_sta=10
ieee80211n=1
wpa=2
rsn_pairwise=CCMP
wpa_psk=db43464af1bf4cc2414b13533c65684809a73e6a50f4b1fe1c4fd8af4cb63507

```

Obrázek 1.9: Ukázka dat ze souboru `hostapd.conf` u telefonu Samsung S3 mini



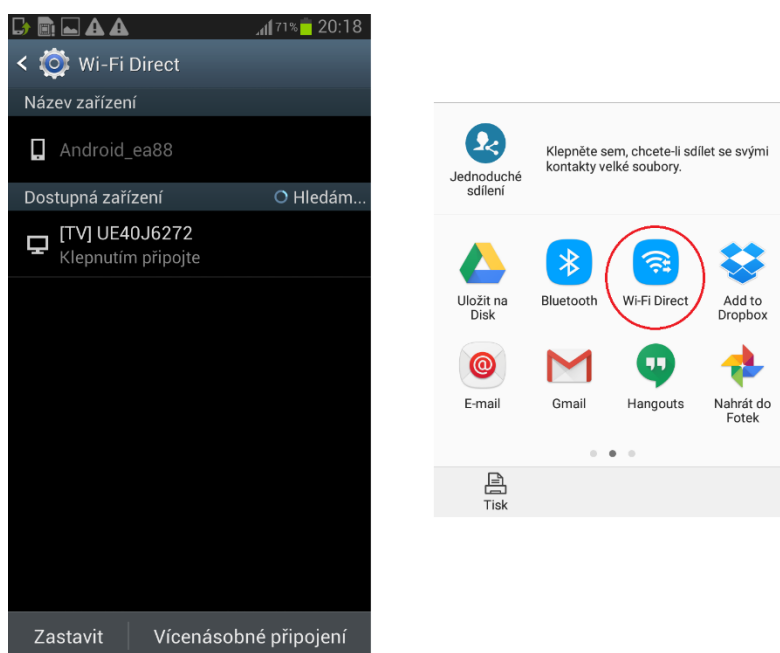
Obrázek 1.10: Možnosti nastavení WiFi hotspotu (z levého horního rohu LG Nexus 5X, Asus Zenfone 2, Lenovo A2010, Samsung J5, Samsung S3 min a Samsung S2)

2.3 WiFi Direct

Technologie WiFi Direct je certifikační označení, které spadá pod organizaci WiFi Alliance. Umožňuje přenos dat mezi rozdílnými zařízeními a to bez pomoci přístupového bodu tzv. access pointu (AP). Jeho hlavním rivalem je technologie Bluetooth, ale vzhledem k ní má větší přenosové rychlosti, dosah a lepší zabezpečení přenosu. Celý přenos je zabezpečen šifrovací metodou WPA2. K párování WiFi Direct zařízení může být použito NFC, Bluetooth signálu anebo stisk tlačítka na zařízení. Mezi využití patří např. bezdrátový tisk, streamování videa ve vysokém rozlišení na DLNA TV, připojení digitálního rámečku, připojení k fotoaparátu a ovládání zařízení typu „Internet věcí“.

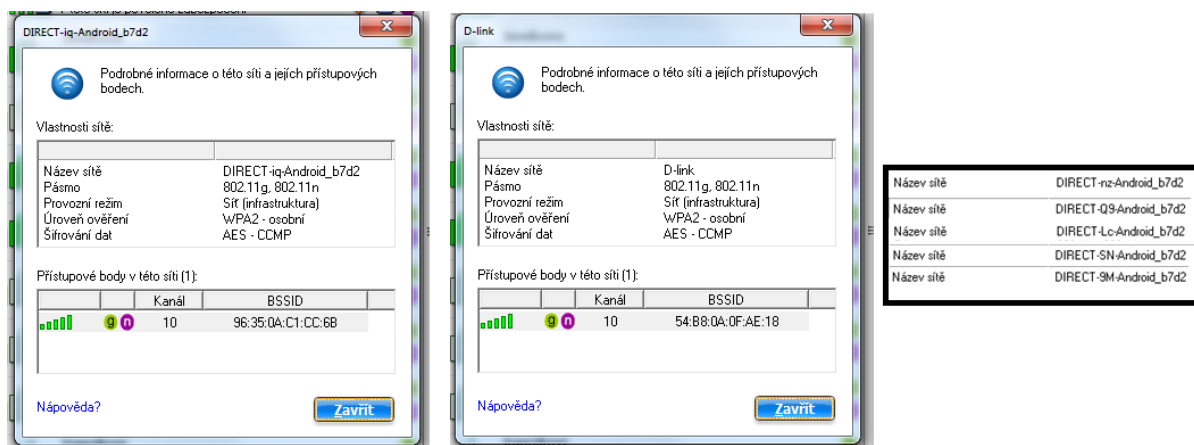
2.3.1 WiFi Direct a mobilní OS

Google oznámil podporu WiFi Direct v Androidu 4.0 v říjnu roce 2011. Zatímco některé zařízení s Androidem 2.3 jako Samsung Galaxy S II měly tuto funkci dostupnou dříve díky implementaci od výrobce. Galaxy Nexus byl prvním mobilním telefon s oficiální implementací WiFi Direct od Googlu. Pro zařízení s mobilním OS Blackberry se stal WiFi Direct součástí s upgradem na verzi 10.2. Apple iOS 8 získal podporu pro Wi-Fi Direct pro funkce jako Airdrop, Handoff, Instant Hotspot a AirPlay, avšak v březnu 2016 Apple oznámil konec implementace WiFi Direct do svých mobilních telefonů.



Obrázek 1.11: *Wi-Fi Direct u telefonu Samsung S3*

U zapůjčených telefonů bylo testováním zjištěno, že spojení se vytvoří na kanále, který má daný telefon nastavený v konfiguračním souboru `p2p_suppllicant.conf` (obr. 1.13) ve složce `\device\data\misc\wifi` nebo pokud je nějaké zařízení připojené k AP, tak se nastaví kanál na kterém vysílá toto AP (obr. 1.12). SSID které vznikne má tvar `DIRECT-XX-NAZEVZARIZENI`, kde `XX` jsou náhodně vygenerované dva znaky a `NAZEVZARIZENI` je `ssid_posfix`, který se nastavuje v souboru `p2p_suppllicant.conf`.



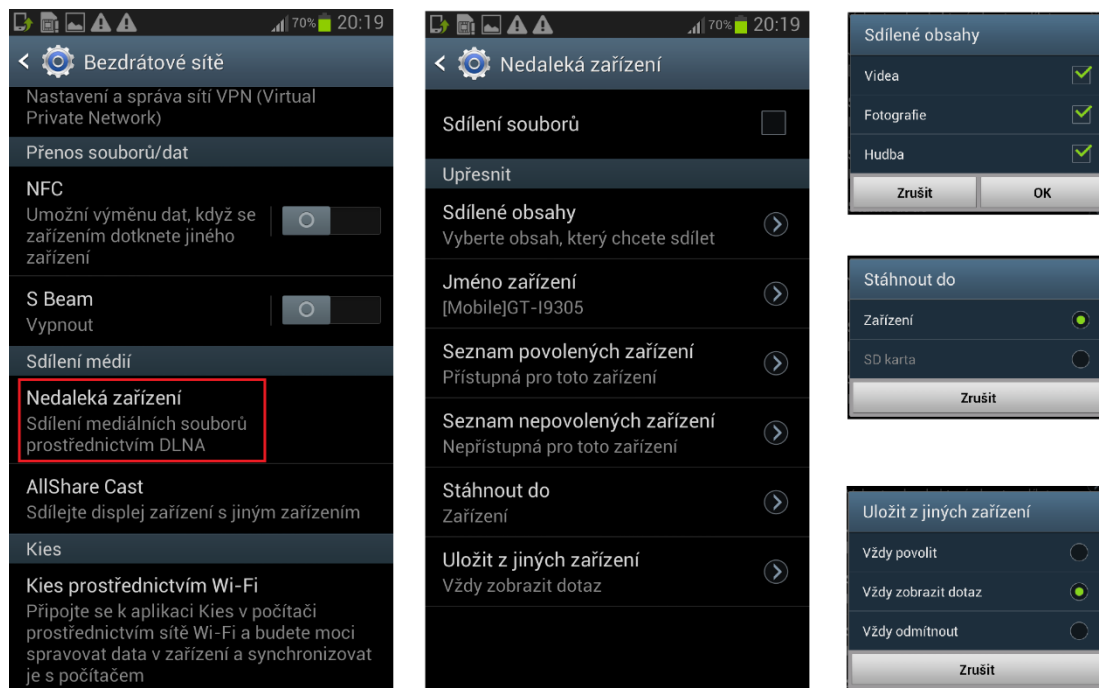
Obrázek 1.12: Kanál a SSID při vytvoření WiFi Direct spojení

```
ctrl_interface=/data/misc/wifi/sockets
driver_param=use_p2p_group_interface=1
update_config=1
device_name=Android_b7d2
manufacturer=SAMSUNG_ELECTRONICS
model_name=SAMSUNG_MOBILE
model_number=2012
serial_number=19691101
device_type=10-0050F204-5
config_methods=virtual_push_button physical_display keypad
p2p_listen_reg_class=81
p2p_listen_channel=1
p2p_oper_reg_class=115
p2p_oper_channel=6
p2p_ssid_postfix=-Android_b7d2
persistent_reconnect=1
```

Obrázek 1.13: Ukázka dat ze souboru p2p_suppllicant.conf u telefonu Samsung S3 mini

2.4 DLNA

Technologie DLNA (*Digital Living Network Alliance*) využívá sadu síťových protokolů UPnp (*Universal Plug and Play*) slouží k sdílení dat a komunikaci mezi multimediálními zařízeními v domácnosti. DLNA můžeme využít, pokud například máme uložený film, hudbu a obrázky v telefonu a chceme je zobrazit na chytré televizi. Televize musí mít síťové rozhraní a to buď Ethernet nebo WiFi. K televizi se můžeme připojit přímo i nepřímo. Přímá metoda zahrnuje využití technologie WiFi Direct. Nepřímá metoda počítá s připojením telefonu a televize na stejnou síť. V případě sdílení obsahu z telefonu do televize je telefon označován jako DMS (*Digital Media Server*) a televize zastává roli DMP (*Digital Media Player*). Pokud má telefon certifikaci DLNA naleznete potřebná nastavení v nastavení systému. Pokud však nemá DLNA certifikaci lze využít dodatečné aplikace. Tyto aplikace umožňují sdílet obsah z telefonu tak i z Cloudu ke kterému je telefon připojen. U OS Android můžeme například využít aplikaci AirWire (*minimálně Android 3*). OS Apple nabízí na iTunes aplikaci Allcast TV Pro (*minimálně iOS 8*). V případě OS Windows phone lze využít aplikaci Smart Player (*minimálně Windows Phone 8*).



Obrázek 1.14: Nastavení DLNA u telefonu Samsung S3

2.5 Miracast

Tento standard patří pod Wi-Fi Alliance a slouží pro bezdrátové připojení k televizi, monitoru nebo projektoru. Někdy je také popisován jako HDMI přes WiFi. Miracast využívá WiFi Direct, což ji umožňuje vysílání v obrazové kvalitě až 1080p(*H.264 kodek*) a s podporou 5.1 prostorového zvuku. Toto označení vzniklo v roce 2012, k 9.3 2017 Wi-Fi Alliance rozdal celkem 6700 certifikací. Poprvé se Miracast v OS Android objevil ve verzi 4.2, kde byl integrovaný. Samsung tuto funkci ve svých telefonech označil jako AllShare Cast popřípadě Samsung Link, který sloužil s spojení s TV značky Samsung. BlackBerry tuto funkci podporuje od verze 10.2.1 s výjimkou modelu Z10, který toto nezvládal z důvodu nedostačujícího HW. Windows phone tuto funkci nabízí od verze 8.1. OS iOS tuto možnost nenabízí a využívá svoji technologii nazvanou AirPlay. Výhodou oproti DLNA je zobrazení jiného obsahu než jsou videa, fotografie a hudba. popřípadě zobrazení titulků u filmů, s čímž jsou u DLNA problémy.



Obrázek 1.15: *Testování Miracast s telefonem Prestigio5455 a TV LG UH603V*

Pokud vaše TV není tzv. chytrá televize s možností WiFi, ale obsahuje HDMI a USB konektor stačí si pořídit HDMI Stick Anycast(*obr. 1.16*), který podporuje WiFi Direct, DLNA, Miracast i AirPlay.

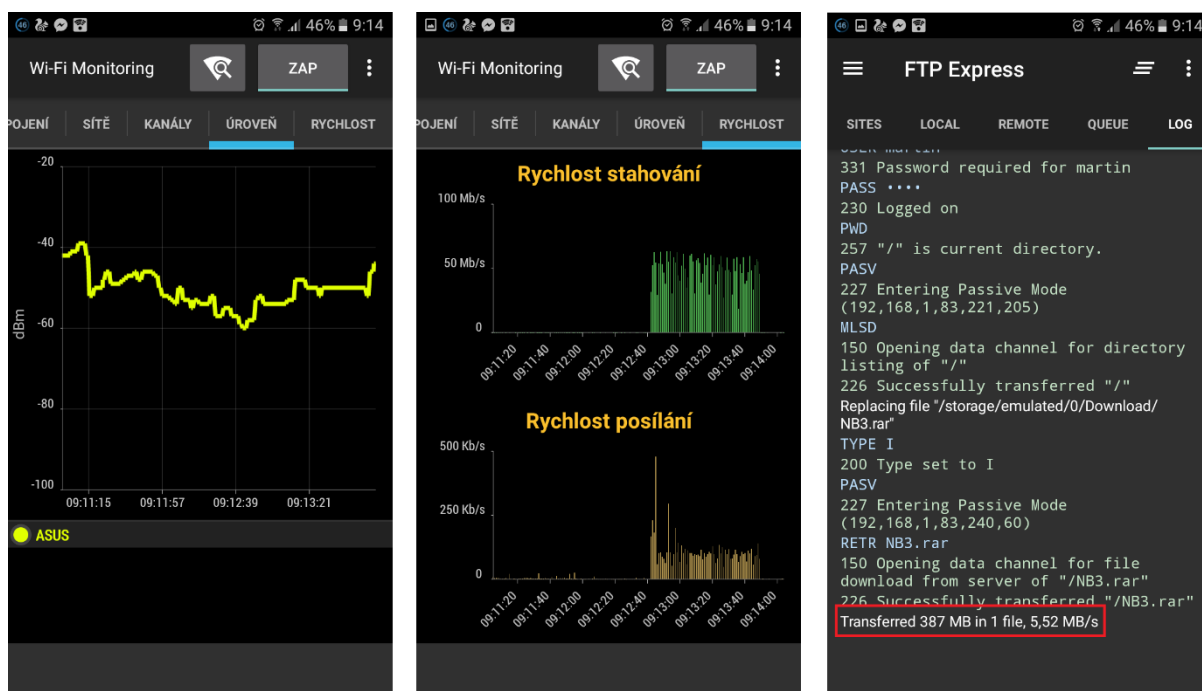


Obrázek 1.16: *HDMI stick Anycast*

3 Měření RSSI a přenosových rychlostí

3.1 Měřicí přístroje a přístupové body

Pro měření jsem zvolil mobilní telefony s OS Android a to od verze 4.0.3 do 7.1.1 konkrétně se jedná o telefony LG Optimus L7 P700, LG Nexus 5X, Lenovo A2010, Asus Zenfone 2 ZE551ML, Samsung J5 SM-J510FN, Samsung SIII I9305, Samsung SIII mini I9190N a Samsung SII I9100. OS Android byl zvolen z důvodu největšího podílu na trhu a velkým počtem nabízených aplikací pro měření na rozdíl od konkurenčních OS. Specifikace telefonů naleznete v příloze C. Pro zaznamenání hodnot RSSI a přenosových rychlostí byla na telefonech použita aplikace WiFi Monitoring. Aplikace FTP Express zastávala roli FTP klienta, z jejíhož logu se zaznamenávala průměrná rychlost přenosu. Dále byly při měření využity dva notebooky a to Dell Latitude E5570 podporující Gigabit Ethernet a Acer Aspire 5733z pro účel vytvoření FTP serveru. Pro vytvoření FTP server byla využita aplikace FileZilla. Jako přístupové body (AP) sloužily zařízení Asus RT-AC66U (*dále jen AP Asus*) a D-Link DIR-605L (*dále jen AP D-Link*). AP byly nastaveny na standard 802.11n s šířkou pásma 20 MHz a ochranným intervalem 400 ns. Na AP Asus nastaveno SSID „Asus“ a na AP D-Link SSID „D-Link“. Specifikace AP naleznete v příloze D.



Obrázek 1.17: Ukázka z aplikací WiFi monitoring a FTP Express u telefonu Samsung J5, měření rychlosti stahování, č. 1

3.2 Měření přenosových rychlostí a RSSI při FTP přenosu

3.2.1 Metodika měření

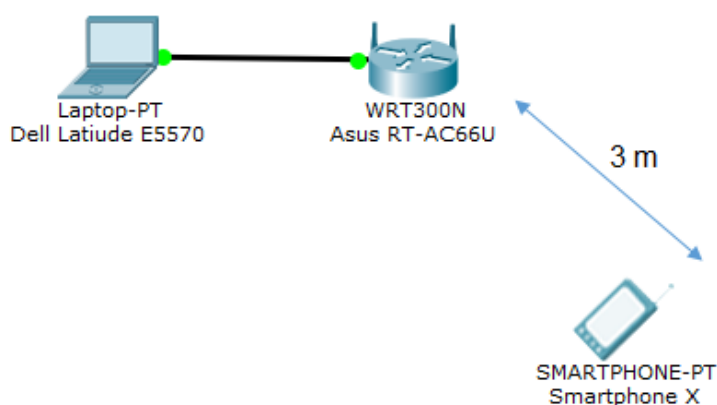
Měření probíhalo v nezaručené chatařské oblasti z hlediska WiFi signálu, konkrétně se jednalo o chatu o rozměrech 5x5 m. Měření přenosových rychlostí proběhlo pomocí FTP přenosu z notebooku Dell do měřených telefonů. Měřila se rychlost stahování i odesílání a to pětkrát u každého telefonu.

Přenášel se soubor o velikosti 387 MB, aby se zajistila dostatečná data pro výpočet průměrné rychlosti. AP bylo umístěno ve vzdálenosti 3 m od testovaných telefonů ve stejné výšce bez překážek. Na dřevěném stole bylo vyznačeno místo, kde byli umístěny telefony ve vodorovné pozici.

3.2.2 Měření přenosových rychlostí a RSSI při samostatném přenosu

Během tohoto měření byl k AP Asus připojen pouze samostatný telefon. Z logu aplikace byla odečítána průměrná rychlost a snímkem obrazovky v aplikaci WiFi monitoring byla zaznamenána hodnota RSSI a graficky zobrazených přenosových rychlostí během přenosu. Toto měření jsem zvolil jako referenční.

Obrázek 1.18: Schéma zapojení při samostatném přenosu

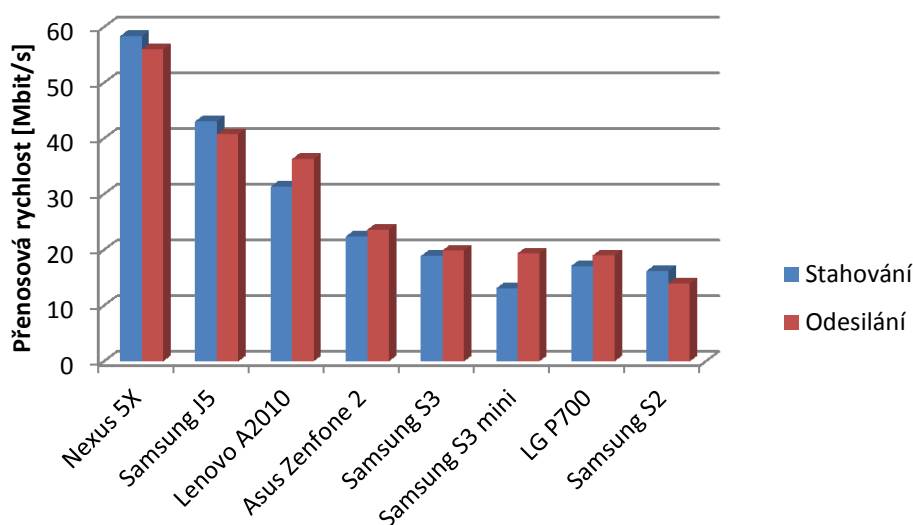


3.2.2.1 Vyhodnocení naměřených hodnot

V tomto měření dosáhl nejvyšších přenosových rychlostí telefon Nexus 5X a to z důvodu, že jako jediný telefon z testovaných podporuje MIMO 2x2. Aplikace WiFi monitoring nám oznamovala, že jsme připojeni rychlostí 144 Mbit/s což je maximální teoretická rychlost u standardu 802.11n při šířce kanálu 20 MHz a ochranným intervalem 400 ns. Reálná průměrná rychlost telefonu Nexus 5X však dosáhla přibližně 58 Mbit/s což odpovídá pouze 40% z teoretické rychlosti. Ostatní telefony měly dosahovat teoretické rychlosti 72 Mbit/s, ale reálné průměrné rychlosti činili okolo 23 Mbit/s což je pouze 30 % z teoretické rychlosti. Vlivů ovlivňující přenosové rychlosti je několik. Pokud se jedná o hardware telefonu tak největší podíl má Chipset, který obsahuje řídící obvody WiFi, které určují jaké standardy WiFi telefon podporuje. Další faktem ovlivňující rychlost je počet antén, jejich umístění a velikost. Průměrné přenosové rychlosti u testovaných telefonů naleznete v tabulce 1.10.

Tabulka 1.10: *Průměrné rychlosti při samostatném přenosu (seřazeno podle rychlosti stahování)*

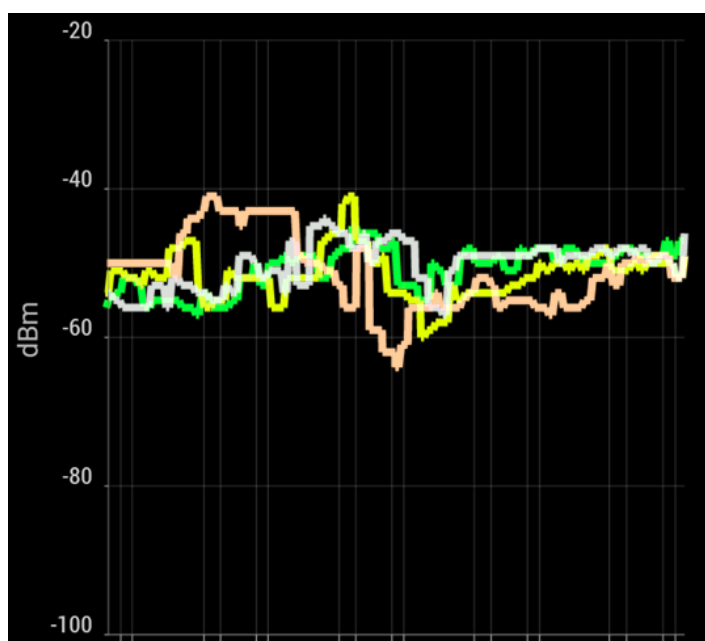
Telefon	Stahování [Mbit/s]	Nahrávání [Mbit/s]
Nexus 5X	58,352	55,952
Samsung J5	43,072	40,768
Lenovo A2010	31,312	36,288
Asus Zenfone 2	22,384	23,6
Samsung S3	18,896	19,888
LG P700	17,104	19,024
Samsung S2	16,208	13,968
Samsung S3 mini	13,056	19,376

Obrázek 1.19: *Graf průměrných přenosových rychlostí u samostatného přenosu*

Měřený parametr úrovně přijímaného signálu RSSI byl proměnný během přenosu a proto udávám hodnoty v rozsahu (*Tabulka 1.11*). Při šíření signálu dochází k jeho ovlivnění prostředím, kterým prochází. Tyto jevy se nazývají absorpce, odraz, rozptyl, lom a ohyb. Vlivem těchto jevů vzniká tzv. útlum signálu, který lze zjednodušeně popsat jako pokles amplitudy signálu. Dalším problémem je vícecestné šíření signálu, které vzniká, když se vyzářený signál šíří prostředím kde se k němu vytvářejí jeho frakce zapříčiněné lomem, odrazem a rozptylem. Z hlediska přenosových rychlostí mohlo dojít k poklesu teoretické rychlosti na 65 Mbit/s okolo hodnoty RSSI -65 dBm. Všechny snímky obrazovky z telefonů naleznete na přiloženém DVD.

Tabulka 1.11: Naměřené hodnoty RSSI při samostatném přenosu

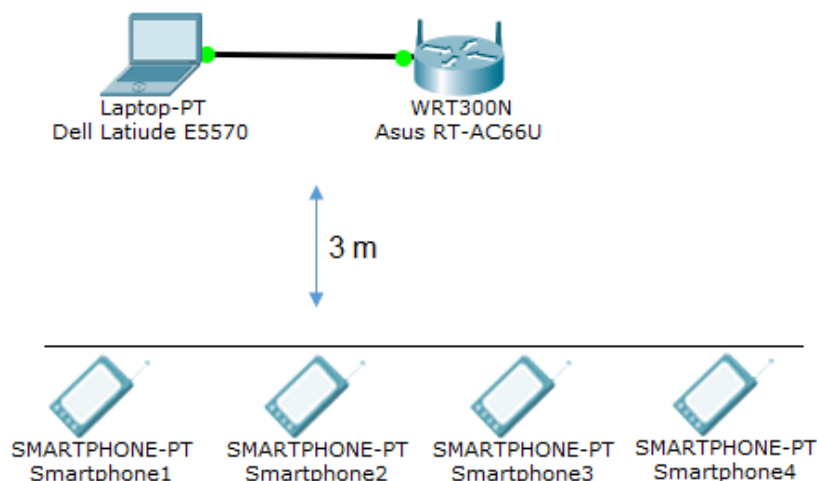
Telefon	RSSI [-dBm]	
	od	do
Nexus 5X	50	60
Samsung J5	40	60
Lenovo A2010	45	60
Asus Zenfone 2	50	60
Samsung S3	50	60
LG P700	N/A	N/A
Samsung S2	40	45
Samsung S3 mini	55	70



Obrázek 1.20: Sloučené hodnoty RSSI do jednoho obrázku telefonu Samsung J5 při stahování

3.2.3 Měření přenosových rychlostí při paralelním přenosu 4 telefonů

Nastavení AP zůstalo stejné jako při měření samostatného přenosu. Změna byla pouze v počtu měřených telefonů v tu samou chvíli (*schéma zapojení na obr. 1.21*). Postup byl stejný jako v případě samostatného přenosu až na nezachycení snímku obrazovky v aplikaci WiFi Monitoring, ale pouze zaznamenání průměrné rychlosti z logu aplikace FTP Express. Jelikož jsem testoval 8 telefonů, tak jsem si je rozdělil do dvou skupin. První skupina byly telefony značky Samsung a druhá ostatní tj. LG Nexus 5X, Asus Zenfone 2, Lenovo A2010 a LG P700. Testována byla vždy pouze jedna skupina. Telefony byly umístěny vodorovně vedle sebe s 5 cm odstupem.



Obrázek 1.21: Schéma měření při paralelním přenosu 4 telefonů

3.2.3.1 Vyhodnocení naměřených hodnot

Oproti měření samostatného přenosu se přenosové rychlosti průměrně snížily o 37%, avšak tento průměr výrazně vylepšuje telefon Asus Zenfone 2 u kterého naopak přenosová rychlost vzrostla o zanedbatelných 0,1%. Telefon Asus Zenfone 2 jako jediný z testovaných obsahuje procesor Intel, který není založený na ARM architektuře nýbrž na x86-64. Největší propad přenosových rychlostí byl naměřen u telefonu Samsung S3 u kterého se snížila rychlost oproti měření samostatného přenosu o 54,5 %. Přehled průměrných rychlostí naleznete v tabulce 1.12 a procentuální rozdíl oproti měření samostatného přenosu v tabulce 1.13.

Tabulka 1.12: Průměrné rychlosti při paralelním přenosu 4 telefonů (seřazeno sestupně podle rychlosti stahování)

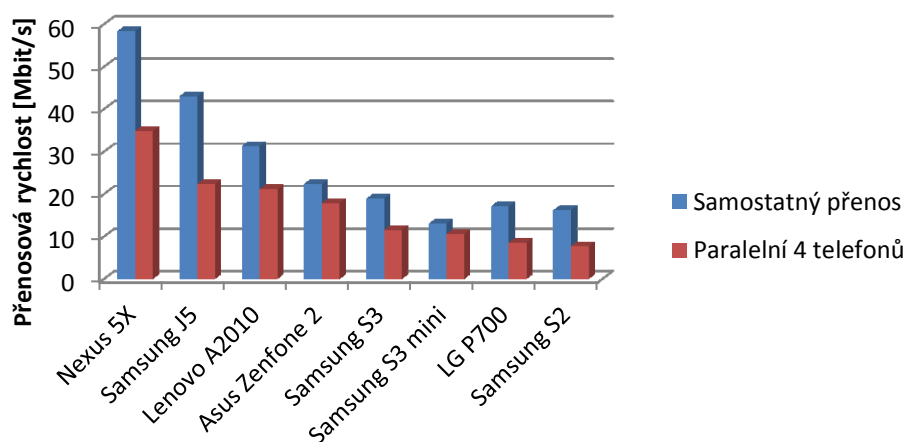
Telefon	Stahování [Mbit/s]	Nahrávání [Mbit/s]
Nexus 5x	34,896	25,632
Asus Zenfone 2	22,4	20,096
Samsung J5	21,152	29,168
Lenovo A2010	17,856	16,56
LG P700	11,568	10,336
Samsung S2	10,608	7,8416
Samsung S3	8,592	8,5728
Samsung S3 mini	7,7616	8,176

Změnu přenosových rychlostí způsobila přístupová metoda s vícenásobným přístupem a nasloucháním nosné s předcházením kolizím neboli CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), kterou technologie WiFi využívá. Ta zajišťuje, že telefon při volném médiu počká náhodnou dobu a pokud neobsadí medium někdo jiný, tak odvysílá datový rámec a počká na jeho potvrzení. Tato doba, kdy telefon zjišťuje, zda je volné medium prodlužuje čas přenosu a tím pádem i průměrnou rychlost přenosu.

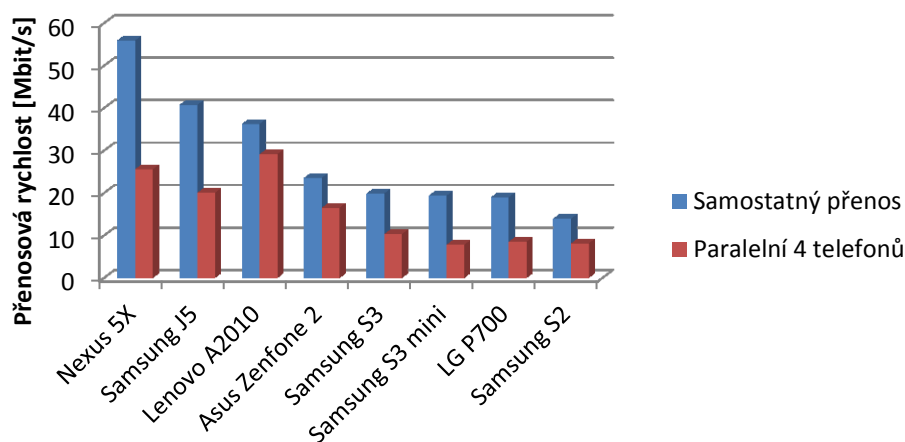
Tabulka 1.13: Procentuální rozdíl oproti měření samostatného přenosu

Telefon	Změna [%]	
	Stahování	Odesílání
Samsung S3	-54,5	-56,9
Samsung J5	-50,9	-28,5
Lenovo A2010	-43	-54,4
Samsung S3 mini	-40,6	-57,8
Nexus 5X	-40,2	-54,2
Samsung S2	-34,6	-43,9
LG P700	-32,4	-45,7
Asus Zenfone 2	0,1	-14,8

Přenosová rychlost stahování



Přenosová rychlost odesílání



Obrázek 1.22: Grafické porovnání přenosových rychlostí paralelního přenosu 4 telefonů se samostatným přenosem

3.2.4 Měření přenosových rychlostí při paralelním přenosu 8 telefonů

Nastavení a postup stejný jako u paralelního přenosu 4 telefonů. Odstup byl snížen na 2cm, aby se telefony podařilo umístit na stůl všechny v jedné řadě.

3.2.4.1 Vyhodnocení naměřených hodnot

Omezující faktory stejné jako při paralelním přenosu 4 telefonů. Nejmenší procentuální změny opět dosáhl telefon Asus Zenfone 2 a to pouze s poklesem o 31,7% vzhledem k referenčnímu měření při samostatném přenosu. Největší pokles přenosové rychlosti byl změřen u telefonu Samsung J5 a to až o 85,4 %. Celkový průměr poklesu přenosových rychlostí činil 60,5%.

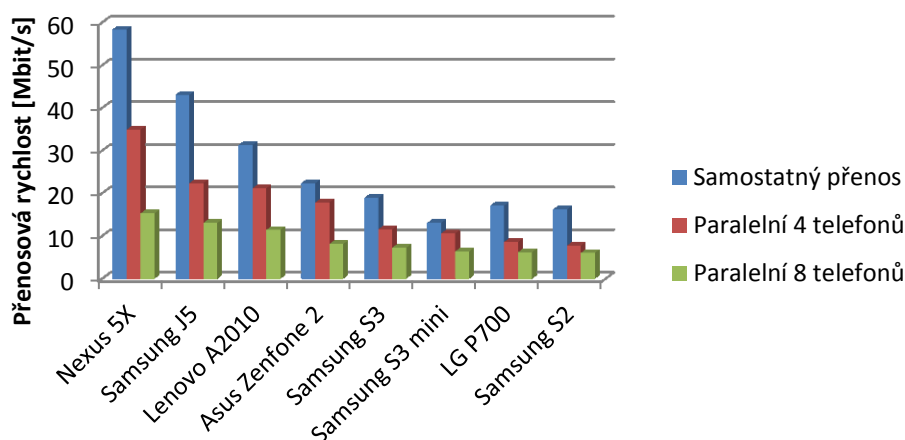
Tabulka 1.14: *Průměrné rychlosti při paralelním přenosu 8 telefonů (seřazeno sestupně podle rychlosti stahování)*

Telefon	Stahování [Mbit/s]	Odesílání [Mbit/s]
Asus Zenfone 2	15,296	13,088
Lenovo A2010	13,072	9,04
Nexus 5x	11,456	9,312
Samsung S2	8,1248	4,7056
Samsung S3	7,2608	5,4736
Samsung J5	6,384	9,904
Samsung S3 mini	6,216	6,288
LG P700	6,0656	4,672

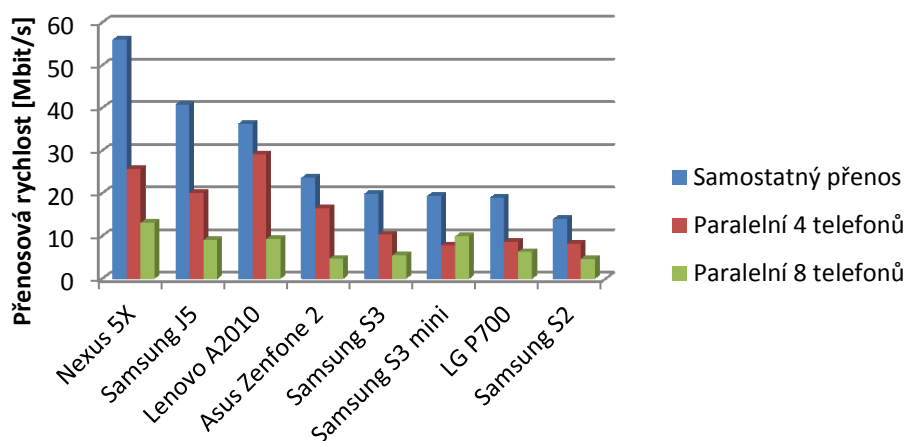
Tabulka 1.15: *Procentuální rozdíl oproti měření samostatného přenosu*

Telefon	Změna [%]	
	Stahování	Odesílání
Samsung J5	-85,2	-75,7
Nexus 5X	-80,4	-83,4
LG P700	-64,5	-75,4
Samsung S3	-61,6	-72,5
Lenovo A2010	-58,3	-75,1
Samsung S3 mini	-52,4	-67,5
Samsung S2	-49,9	-66,3
Asus Zenfone 2	-31,7	-44,5

Přenosová rychlost stahování



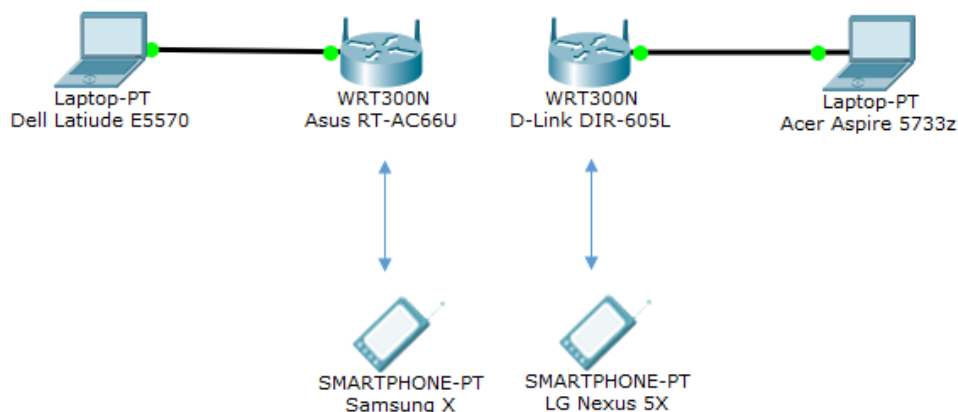
Přenosová rychlost odesílání



Obrázek 1.23: Grafické porovnání přenosových rychlostí paralelního přenosu 8 telefonů se samostatným přenosem a paralelním přenosem 4 telefonů

3.2.5 Měření přenosových rychlostí při zarušení dalším AP

Měření jsem provedl pouze pro telefony značky Samsung. Nastavení AP Asus zůstalo stejné jako v předchozích měřeních, avšak přibyl další AP D-Link pracující na stejném kanále a standard 802.11n při 20 MHz. AP D-Link bylo umístěno 10 cm vedle AP Asus. K AP D-Link byl připojený telefon Nexus 5X na kterém probíhal neustálý přenos skrz FTP přenos z notebooku č.2. Měření proběhlo 5 krát ve směru stahování i odesílání. Schéma zapojení můžete vidět na obrázku 1.24 a naměřené hodnoty v příloze B.



Obrázek 1.24: Schéma zapojení při zarušení dalším AP

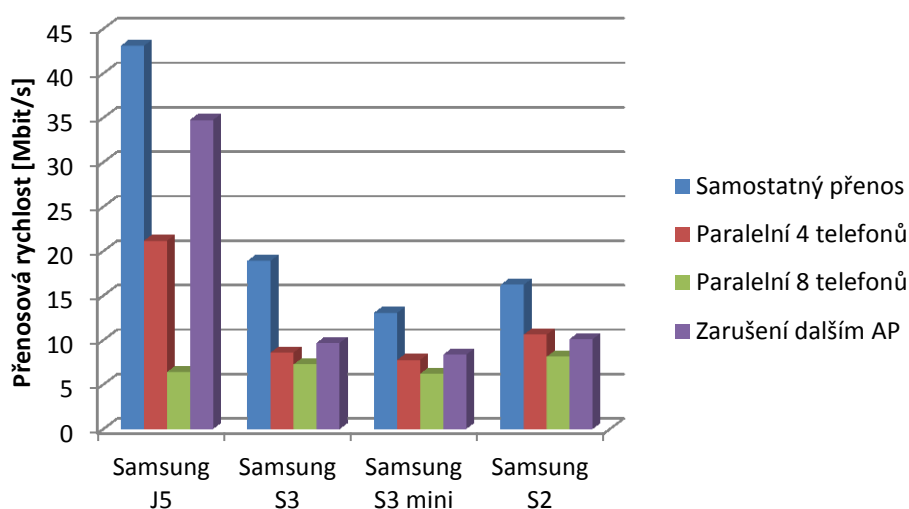
3.2.5.1 Vyhodnocení naměřených hodnot

Vlivem dalšího rušivého AP D-Link dochází na straně telefonu k detekci poškození dat a pokud byli poškozené následkem interferenčních vlivů telefon toto detekuje pomocí kontrolního součtu CRC (*Cyclic redundancy check*) a reaguje příkazem ACK. Pokud přijímač detekuje nekonzistentní CRC součet tak nepotvrdí přijaté data signálem ACK a vysílací strana se pokusí o další pokus. Tento proces má velký vliv na přenosové rychlosti. Výsledné přenosové rychlosti byli srovnatelné s paralelním přenosem 4 telefonů.

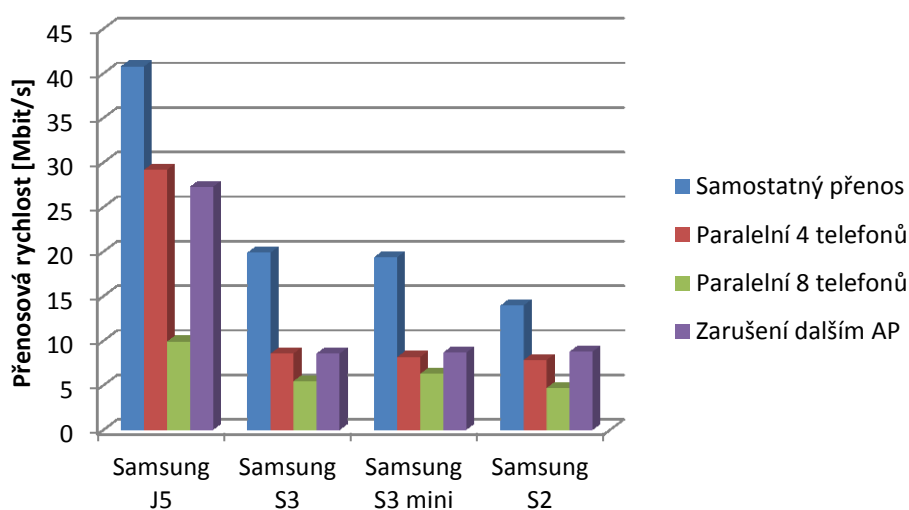
Tabulka 1.16: Průměrné rychlosti při zarušení dalším AP

Telefon	Stahování [Mbit/s]	Odesílání [Mbit/s]
Samsung J5	34,736	27,264
Samsung S2	10,096	8,784
Samsung S3	9,68	8,56
Samsung S3 mini	8,352	8,656

Přenosová rychlost stahování



Přenosová rychlost odesílání



3.3 WiFi Hotspot

3.3.1 Měření rychlosti připojení k internetu

Toto měření proběhlo v otevřeném prostoru na louce. Na telefonu Samsung J5 byl spuštěn WiFi hotspot a k tomuto telefonu se postupně připojili 3 telefony od výrobce Samsung v různém pořadí. Po připojení dalšího telefonu pokaždé proběhl dvakrát test rychlosti připojení k internetu pomocí aplikace Rychlost.cz. Naměřené hodnoty můžete vidět v příloze E. Snímky obrazovky z aplikace Rychlost.cz na obrázku 1.25.

DATUM	DOWN	UP	PING
20.03.18:23	19,7 (Mbits)	8,17 (Mbits)	55 (ms)
20.03.18:22	18,9 (Mbits)	5,81 (Mbits)	202 (ms)
20.03.18:20	19,8 (Mbits)	5,69 (Mbits)	169 (ms)
20.03.18:19	16,3 (Mbits)	5,54 (Mbits)	210 (ms)
20.03.18:09	22,1 (Mbits)	6,31 (Mbits)	235 (ms)
20.03.18:09	21,1 (Mbits)	6,27 (Mbits)	184 (ms)

DATUM	DOWN	UP	PING
20.03.18:22	18,3 (Mbits)	8,37 (Mbits)	103 (ms)
20.03.18:22	19,5 (Mbits)	6,05 (Mbits)	194 (ms)
20.03.18:19	19,2 (Mbits)	8,01 (Mbits)	71 (ms)
20.03.18:19	19,8 (Mbits)	4,02 (Mbits)	193 (ms)
20.03.18:06	17,2 (Mbits)	8,48 (Mbits)	116 (ms)
20.03.18:04	21,2 (Mbits)	8,15 (Mbits)	24 (ms)
20.03.18:04	16,5 (Mbits)	6,00 (Mbits)	101 (ms)

DATUM	DOWN	UP	PING
20.03.18:21	10,0 (Mbits)	1,47 (Mbits)	496 (ms)
20.03.18:21	5,61 (Mbits)	1,79 (Mbits)	392 (ms)
20.03.18:18	11,8 (Mbits)	1,72 (Mbits)	287 (ms)
20.03.18:18	12,4 (Mbits)	2,29 (Mbits)	240 (ms)
20.03.18:02	0,00 (Mbits)	0,00 (Mbits)	0,0 (ms)
20.03.18:00	13,5 (Mbits)	1,57 (Mbits)	312 (ms)

Obrázek 1.25: Zleva Samsung S2, Samsung S3 a Samsung S3 mini

3.3.1.1 Vyhodnocení měření

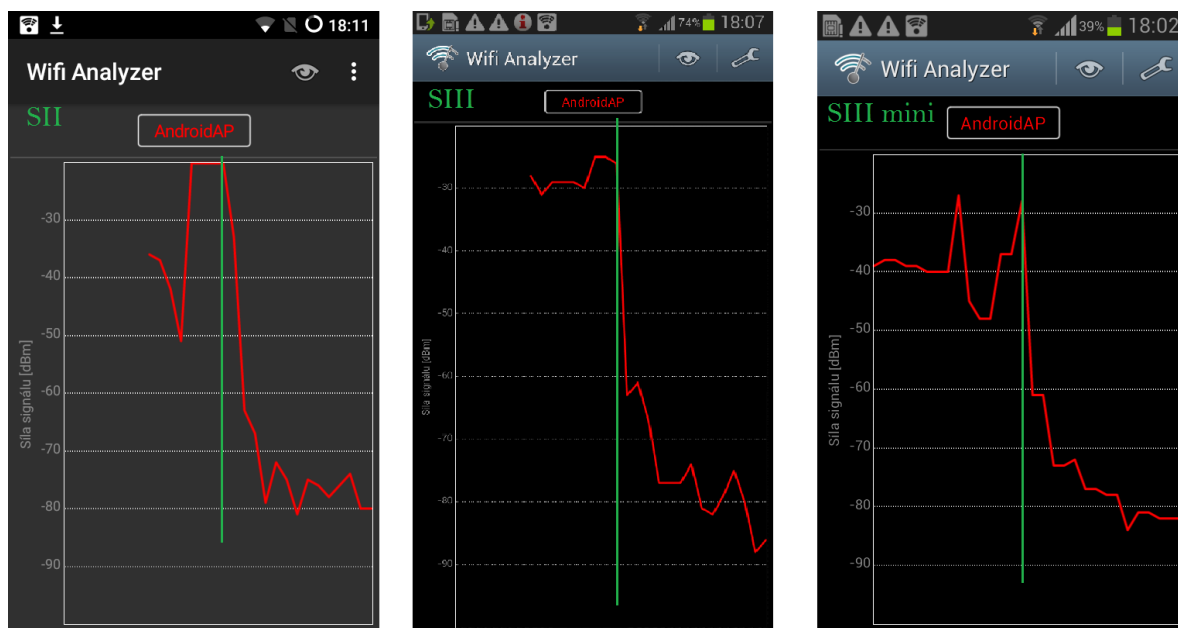
Cílem měření bylo otestovat rychlost připojení k internetu vzhledem k počtu připojených telefonů k WiFi hotspotu. Tato spojitost však nebyla dokázána, jelikož rychlost stoupala i klesala a to bez ohledu na počet připojených telefonů.

3.3.2 Měření změny úrovně RSSI na vzdálenosti 50 m

Pomocí Samsungu J5 byl vytvořen hotspot a položen do vodorovné polohy na dřevěnou stoličku v otevřeném prostranství na louce. K hotspotu se připojil měřený telefon, který se položil vedle WiFi hotspotu a poté pomalou chůzí pozpátku jsem se vzdalovat od hotspotu do vzdálenosti 50 m. Zaznamenávala se hodnota RSSI pomocí aplikace WiFi Monitoring, kde byl nastaven interval zaznamenávání hodnot na 3s. Na obrázku 1.26 můžete vidět výsledné hodnoty, kde zelená svislá čára představuje začátek vzdalování se od WiFi hotspotu.

3.3.2.1 Vyhodnocení měření

Jak bylo zmíněno v dřívější kapitole tak při šíření signálu dochází k jeho ovlivnění prostředím, kterým prochází. Tyto jevy se nazývají absorpce, odraz, rozptyl, lom a ohyb. Vlivem těchto jevů vzniká tzv. útlum signálu, který lze zjednodušeně popsat jako pokles amplitudy signálu. U testovaných telefonů na vzdálenosti 50 m klesla hodnota RSSI přibližně o 50 dBm na hodnotu cca -80 dBm což je hodnota, která téměř hraničí s citlivostí přijímačů.



Obrázek 1.26: Změna RSSI na 50 m u telefonů Samsung SII, SIII a SIII mini

4 Závěr

Cílem práce bylo probádat možnosti využití komunikace WiFi v mobilním telefonu a proměření WiFi z hlediska kvality signálu a přenosových rychlostí. Pro splnění tohoto cíle bylo nutné začít u standardů WiFi. V současné době high-end mobilní telefony nabízí jako nejrychlejší WiFi standard IEEE 802.ac Wave2 s podporou 2x2 MIMO, který umožňuje při 2x2 MIMO maximální teoretickou rychlost až 1,3 Gbit/s. Tato rychlost je však pouze teoretická a reálná může být pouze poloviční (*vycházím ze svého měření standardu 802.11n*), ale i poloviční rychlost je postačující například pro vysokorychlostní připojení k internetu nebo bezdrátový přenos obrazu ve vysokém rozlišení 4K.

Možností WiFi u mobilních telefonů není mnoho. Nejčastěji vyskytované WiFi možnosti, jejichž certifikaci uděluje Wi-Fi Alliance jsou WiFi Direct, WiFi Hotspot, DLNA a Miracast. Největší problém těchto možností je nevědomost uživatelů o jejich existenci. Přitom WiFi Direct vám může ušetřit čas při přenosu většího objemu dat, jelikož nabízí větší přenosovou rychlost než technologie Bluetooth. Při testování funkce WiFi Direct bylo zjištěno, že mobilní telefon obsahuje konfigurační soubor, který obsahuje vlastnosti WiFi spojení (*standard, kanál, SSID*) avšak k tomuto souboru se dostanete, pouze pokud máte na mobilním telefonu root práva. WiFi Hotspot využijete při sdílení vašeho mobilního internetu s dalšími zařízeními. Možnosti konfigurace WiFi hotspotu se liší od typu mobilního telefonu. Mezi parametry, které vám dovolí nastavit prostředí operačního systému patří SSID, typ zabezpečení, vysílací kanál, standard, maximální počet připojitelných a filtraci pomocí MAC adresy. Pokud se jedná o mobilní telefon s OS Android lze tyto parametry nastavit v konfiguračním souboru, ale to pouze v případě root práv v telefonu. DLNA slouží k sdílení multimediálního obsahu na TV podporující tuto funkci. Funkce Miracast nabízí zrcadlení obsahu displeje mobilního telefonu na obrazovku TV podporující tuto funkci. Jako výhodu u funkce Miracast bych zmínil přenos prostorového zvuku 5.1 avšak i nevýhodu a to otáčení obrazu.

U FTP přenosu měřené mobilní telefony měly dosahovat teoretické rychlosti 72 Mbit/s (*802.11n, 20 MHz*), ale reálné průměrné rychlosti činili okolo 23 Mbit/s což je pouze 30 % z teoretické rychlosti. V případě paralelního přenosu 4 mobilních telefonů rychlost dosáhla pouze 16 Mbit/s a při paralelním přenosu 8 telefonů pouze 8,5 Mbit/s. Z těchto hodnot lze usoudit, že v případě zdvojnásobení počtu telefonů se rychlost snížila o polovinu. Při zarušení dalším přístupovým bodem na stejném kanálu se dosáhlo přenosových rychlostí srovnatelných s paralelním přenosem 4 telefonů. Vlivů ovlivňujících přenosové rychlosti je několik. Pokud se jedná o hardware telefonu tak největší podíl má Chipset, který obsahuje řídicí obvody WiFi určující jaké standardy WiFi mobilní telefon podporuje. Další faktem ovlivňující rychlost je počet antén, jejich umístění a velikost. Měřený parametr úrovně přijímaného signálu RSSI byl proměnný během přenosu a proto udávám hodnoty v rozsahu. Při šíření signálu docházelo k jeho ovlivnění prostředím, kterým prochází a to konkrétně jevy se nazývající se absorpce, odraz, rozptyl, lom a ohyb.

5 Použitá literatura

- [1] KUMAR, Sanjay. Wireless Communication: the fundamental and advanced concepts. 1. vyd. Denmark: River Publishers, 2015, 745 s. ISBN 978-89-93102-81-1
- [2] ŠEBESTA, R., DVORSKÝ M., Rádiové sítě I pro integrovanou výuku VUT a VŠB-TUO, 1.vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014, 98 s. ISBN 978-80-248-3612-6
- [3] IEEE 802.11n Standard. Radio-electronic.com [online]. [vid. 2015]. Dostupné z: <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11n.php>
- [4] Understanding Technology Options for Deploying WiFi. Ubeeinteractive.com. [online]. [vid. 2015]. Dostupné z: <http://www.ubeeinteractive.com/sites/default/files/Understanding%20Technology%20Options%20for%20Deploying%20Wi-Fi%20White%20Paper.pdf>
- [5] IEEE_802.11. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2016-03-07]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11
- [6] PERAHIA, Eldad a Robert STACEY. Next generation wireless LANs: 802.11n, 802.11ac, and Wi-Fi direct. Second edition. ISBN 1107016762.
- [7] Gartner Says Worldwide Sales of Smartphones Grew 7 Percent in the Fourth Quarter of 2016. 301 Moved Permanently [online]. Copyright © [cit. 20.04.2017]. Dostupné z: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3609817>
- [8] MCS Index, Modulation and Coding Index 11n and 11ac. MCS Index, Modulation and Coding Index 11n and 11ac [online]. Dostupné z: <http://mcsindex.com/>
- [9] WLAN 802.11ad Tutorial | WLAN 802.11 ad basics. RF Wireless Vendors and Resources | RF Wireless World [online]. Copyright ©RF Wireless World 2012, RF [cit. 20.04.2017]. Dostupné z: <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/WLAN-802-11ad-tutorial.html>
- [10] GSMArena.com - GSM phone reviews, news, opinions, votes, manuals and more.... GSMArena.com - GSM phone reviews, news, opinions, votes, manuals and more... [online]. Copyright © 2000 [cit. 20.04.2017]. Dostupné z: <http://www.gsmarena.com/>
- [11] RT-AC66U | Síťové připojení | ASUS Česká republika. [online]. Copyright ©ASUSTeK Computer Inc. Všechna práva vyhrazena. [cit. 20.04.2017]. Dostupné z: <https://www.asus.com/cz/Networking/RTAC66U/>
- [12] DIR-605L Wireless N 300 Home Cloud Router | D-Link. Object moved [online]. Copyright © 2012 D [cit. 20.04.2017]. Dostupné z: <http://www.dlink.com/cz/cs/products/dir-605l-wireless-n-300-home-cloud-router>

Seznam příloh

Příloha A:	Naměřené hodnoty přenosových rychlostí při FTP přenosu	I
Příloha B:	Naměřené hodnoty přenosových rychlostí při zarušení dalším AP.....	V
Příloha C:	Specifikace měřených telefonů [10]	VI
Příloha D:	Specifikace použitých AP[11][12]	VIII
Příloha E:	Naměřené hodnoty WiFi hotspot	ix

Příloha na CD/DVD.

Adresářová struktura přiloženého CD/DVD:

- | | | |
|----------|---|-----------------|
| - Měření | - | Samsung J5 |
| | - | Samsung S3 |
| | - | Samsung S3 mini |
| | - | Samsung S2 |
| | - | Asus Zenfone 2 |
| | - | Nexus 5X |
| | - | Lenovo A2010 |
| | - | LG P700 |

Příloha A: *Naměřené hodnoty přenosových rychlostí při FTP přenosu*

Samsung J5 2016			
		Rychlost stahování	Rychlost odesílání
Počet připoj. zařízení	Měření č.	Mbit/s	Mbit/s
1	1	44,16	41,12
	2	44,64	40,16
	3	43,28	40,88
	4	41,68	40,48
	5	41,6	41,2
4	1	20,08	28,96
	2	18,4	29,36
	3	24,16	26,72
	4	19,12	31,04
	5	24	29,76
8	1	6,464	10,4
	2	6,464	9,84
	3	6,232	9,36
	4	6,408	10,32
	5	6,352	9,6

Samsung S3			
		Rychlost stahování	Rychlost odesílání
Počet připoj. zařízení	Měření č.	Mbit/s	Mbit/s
1	1	18,88	19,68
	2	18,64	20,24
	3	18,8	19,84
	4	18,88	19,68
	5	19,28	20
4	1	8,8	8,8
	2	8,88	7,904
	3	8,24	8,32
	4	8,64	9,2
	5	8,4	8,64
8	1	7,144	6,096
	2	7,552	5,472
	3	7,064	5,056
	4	6,8	4,816
	5	7,744	5,928

Samsung S3 mini			
		Rychlost stahování	Rychlost odesílání
Počet připoj. zařízení	Měření č.	Mbit/s	Mbit/s
1	1	13,68	19,12
	2	13,84	19,44
	3	12,72	19,92
	4	12,16	18,72
	5	12,88	19,68
4	1	7,824	8,48
	2	7,928	7,84
	3	7,776	7,92
	4	7,744	8,32
	5	7,536	8,32
8	1	5,92	5,896
	2	5,736	5,16
	3	6,568	6,856
	4	6,104	6,704
	5	6,752	6,824

Samsung S2			
		Rychlost stahování	Rychlost odesílání
Počet připoj. zařízení	Měření č.	Mbit/s	Mbit/s
1	1	16,4	13,68
	2	16,16	14
	3	16,16	14
	4	15,92	14
	5	16,4	14,16
4	1	9,84	7,928
	2	10,48	7,704
	3	11,52	7,912
	4	10,56	7,744
	5	10,64	7,92
8	1	7,704	4,864
	2	8,8	4,768
	3	7,72	4,376
	4	8,32	4,704
	5	8,08	4,816

LG Nexus 5X			
		Rychlost stahování	Rychlost odesílání
Počet připoj. zařízení	Měření č.	Mbit/s	Mbit/s
1	1	57,84	54,56
	2	56,72	56,8
	3	61,44	56,4
	4	58,24	55,92
	5	57,52	56,08
4	1	33,76	23,12
	2	33,92	24,96
	3	35,84	27,04
	4	35,2	25,6
	5	35,76	27,44
8	1	12,08	9,68
	2	11,44	9,2
	3	11,04	8,96
	4	11,6	9,52
	5	11,12	9,2

Asus Zenfone 2			
		Rychlost stahování	Rychlost odesílání
Počet připoj. zařízení	Měření č.	Mbit/s	Mbit/s
1	1	22,56	23,6
	2	21,68	23,6
	3	23,04	23,6
	4	22,32	23,28
	5	22,32	23,92
4	1	22,4	19,52
	2	22,56	20,72
	3	23,12	20,64
	4	22,08	19,68
	5	21,84	19,92
8	1	16,4	12,16
	2	15,52	12,48
	3	13,84	13,44
	4	14,88	13,68
	5	15,84	13,68

Lenovo A2010			
		Rychlost stahování	Rychlost odesílání
Počet připoj. zařízení	Měření č.	Mbit/s	Mbit/s
1	1	31,6	41,12
	2	32,72	37,36
	3	29,76	25,04
	4	29,68	37,6
	5	32,8	40,32
4	1	17,36	15,44
	2	17,84	16,56
	3	18,08	16,88
	4	18,32	17,12
	5	17,68	16,8
8	1	14	9,2
	2	13,6	9,28
	3	12,72	8,72
	4	11,6	8,8
	5	13,44	9,2

LG L7 P700			
		Rychlost stahování	Rychlost odesílání
Počet připoj. zařízení	Měření č.	Mbit/s	Mbit/s
1	1	16,48	18,88
	2	16,72	19,04
	3	17,84	18,96
	4	17,28	18,88
	5	17,2	19,36
4	1	11,36	10
	2	11,52	10,48
	3	11,76	10,56
	4	11,52	10,24
	5	11,68	10,4
8	1	6,312	5,064
	2	5,768	4,296
	3	6,256	4,432
	4	6,064	4,752
	5	5,928	4,816

Samsung J5 2016		
	Rychlost stahování	Rychlost odesílání
Měření č.	Mbit/s	Mbit/s
1	31,68	27,28
2	35,36	26,96
3	35,68	27,04
4	34,96	27,36
5	36	27,68

Samsung S3		
	Rychlost stahování	Rychlost odesílání
Měření č.	Mbit/s	Mbit/s
1	10,16	8,72
2	10	8,4
3	8,8	8,4
4	9,52	8,56
5	9,92	8,72

Samsung S3 mini		
	Rychlost stahování	Rychlost odesílání
Měření č.	Mbit/s	Mbit/s
1	8,4	8,56
2	8,24	8,48
3	8,16	8,96
4	8,4	8,72
5	8,56	8,56

Samsung S2		
	Rychlost stahování	Rychlost odesílání
Měření č.	Mbit/s	Mbit/s
1	9,92	8,72
2	10,24	8,88
3	10,08	8,64
4	10,24	8,96
5	10	8,72

	Samsung J5 (SM-J510FN)	Samsung S III (I9305)	Samsung S III mini (I8190N)	Samsung S II (I9100)
Rozměry (mm)	146x72x8,1	136,6x70,6x8,6	121,6x63x9,9	125,3x66,1x8,5
Displej (in)	5,2	4,8	4	4,3
Sítě	GSM, WCDMA, GPRS, EDGE, HSPA (21,1 5,76 Mbit/s), LTE (150 50 Mbit/s)	GSM, WCDMA, GPRS, EDGE, HSPA (42,2 5,76 Mbit/s), LTE (100 50 Mbit/s)	GSM, WCDMA, GPRS, EDGE, HSPA (14,4 5,76 Mbit/s)	GSM, WCDMA, GPRS, EDGE, HSPA (21,1 5,76 Mbit/s)
WLAN	802.11 b/g/n, Wi-Fi Direct, hotspot	Wi-Fi 802.11 a/b/g/n, dual-band, Wi-Fi Direct, DLNA, hotspot	Wi-Fi 802.11 a/b/g/n, dual-band, Wi-Fi Direct, DLNA, hotspot	Wi-Fi 802.11 a/b/g/n, dual-band, Wi-Fi Direct, DLNA, hotspot
SAR EU (W/kg)	0,453 (head), 1,170 (body)	0,244 (head), 0,237(body)	0,624 (head) 0,758 (body)	0,338 (head) 0,337(body)
Paměť RAM	2 GB	1 GB	1 GB	1 GB
CPU	Quad-core 1.2 GHz Cortex-A53	Quad-core 1.4 GHz Cortex-A9	1.0 GHz dual-core Cortex-A9	Dual-core 1.2 GHz Cortex-A9
Chipset	Qualcomm MSM8916 Snapdragon 410	Exynos 4412 Quad	NovaThor U8420	Exynos 4210 Dual
GPU	Adreno 306	Mali-400MP4	Mali-400	Mali-400MP4
Modelový rok	2016/3	2012/9	2012/11	2011/4
Verze OS Android	v6.0.1 (Marshmallow)	4.3 (Jelly Bean) UPG to v4.4.4 (KitKat)	v4.1 (Jelly Bean)	v2.3.4 (Gingerbread), v4.0.4 (Ice Cream Sandwich), upgradable to v4.1 (Jelly Bean)

	Nexus 5X	Lenovo A2010	Asus Zenfone 2 ZE551ML	LG Optimus L7 P700
Rozměry (mm)	147x72,6x7,9	131,5x66,5x9,9	152,5x77,2x10,9	125,5x67x8,7
Displej (in)	5,2	4,5	5,5	4,3
Sítě	GSM, WCDMA, GPRS, EDGE, HSPA (42,2 5,76 Mbit/s), LTE-A (300 50 Mbit/s)	GSM, WCDMA, GPRS, EDGE, HSPA (42,2 5,76 Mbit/s), LTE (150 50 Mbit/s)	GSM, WCDMA, GPRS, EDGE, HSPA (42,2 5,76 Mbit/s), LTE (150 50 Mbit/s)	GSM, WCDMA, GPRS, EDGE, HSPA (21,1 5,76 Mbit/s)
WLAN	Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac, dual-band, Wi-Fi Direct, DLNA, hotspot, MIMO 2X2	Wi-Fi 802.11 b/g/n, hotspot	Wi-Fi 802.11 a/b/g/n/ac, Wi-Fi Direct, hotspot	Wi-Fi 802.11 b/g/n, Wi-Fi Direct, hotspot, DLNA
SAR EU (W/kg)	0,607 (head) 0,397 (body)	0,569 (head) 0,372 (body)	0,351(head) 0,332 (body)	0,762 (head), 0,534 (body)
Paměť RAM	2 GB	1 GB	4 GB	512 MB
CPU	Hexa-core (4x1.4 GHz Cortex-A53 & 2x1.8 GHz Cortex- A57)	Quad-core 1.0 GHz Cortex- A53	Quad-core 2.3 GHz	1.0 GHz Cortex-A5
Chipset	Qualcomm MSM8992 Snapdragon 808	Mediatek MT6735M	Intel Atom Z3580	Qualcomm MSM7227A Snapdragon S1
GPU	Adreno 418	Mali-T720MP2	PowerVR G6430	Adreno 200
Modelový rok	2015/10	2015/9	2015/3	2012/4
Verze OS Android	v6.0 (Marshmallow), upgradable to v7.1.1 (Nougat)	v5.1 (Lollipop)	v5.0 (Lollipop), upgradable to v6.0 (Marshmallow)	v4.0.3 (Ice Cream Sandwich)

	Asus RT-AC66U	D-Link DIR-605L Wireless N 300
Podporované standardy	IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac, IEEE 802.3u	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.3, IEEE 802.3u
Typ zabezpečení	WEP(64b), WEP(128b), WPA2-PSK, WPA-PSK, WPA-Enterprise, WPA2-Enterprise	WEP(64b), WEP(128b), WPA, WPA2, WPA/WPA2 PSK, WPS (PBC/PIN)
Frekvence	2.4 GHz / GHz	2.4 GHz to 2.4835 GHz
Anténa	3x odnímatelná , MIMO 3x3	2x pevná externí 5 dBi, MIMO 2x2
EIRP	< 24dBm	< 20 dBm
Rozměry (š x h x v)	207 x 148.8 x 35.5 mm	112 x 152 x 28 mm
Napájení	19V DC / 1.58A	5V DC/ 1A

Příloha E: *Naměřené hodnoty WiFi hotspot*

Samsung J5				Samsung S3			
počet připojen ých telefonů	Rychlost stahování [Mbit/s]	Up [Mbit/s]	Ping [ms]	počet připojen ých telefonů	Down [Mbit/s]	Up [Mbit/s]	Ping [ms]
3	22,2	6,93	184	3	16,5	6	191
3	21,2	9,58	105	3	21,2	8,15	24
2	21,1	3,92	284	2	19,8	4,02	193
2	17,9	8,99	76	2	19,2	8,01	71
1	18,8	3,74	261	1	19,5	6,05	194
1	20,8	8,74	64	1	18,3	8,37	103
0	20,1	3,53	307				
Samsung S2				Samsung S3 mini			
	Down [Mbit/s]	Up [Mbit/s]	Ping [ms]		Down [Mbit/s]	Up [Mbit/s]	Ping [ms]
3	21,1	6,27	187	3	9,99	1,73	343
3	22,1	6,31	235	3	13,5	1,57	312
2	16,3	5,54	210	2	12,4	2,29	240
2	19,8	5,69	169	2	11,8	1,72	287
1	18,9	5,81	202	1	5,61	1,79	392
1	19,7	8,17	55	1	10	1,47	496